



PROPUESTA DE REDISTRIBUCION DE UNA BODEGA PARA ADAPTARLA A
UNA GEOMETRIA NO TRADICIONAL EN UN CEDI DE PRODUCTOS DE LÍNEA
BLANCA

ALVARO JOSE TORRES PENAGOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
CALI
2018



PROPUESTA DE REDISTRIBUCION DE UNA BODEGA PARA ADAPTARLA A
UNA GEOMETRIA NO TRADICIONAL EN UN CEDI DE PRODUCTOS DE LÍNEA
BLANCA

ALVARO JOSE TORRES PENAGOS

CODIGO: 201501470

TRABAJO DE TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGISTER EN
INGENIERIA INDUSTRIAL

DIRECTOR

LEONARDO RIVERA

UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

CALI

2018

Ciudad y fecha, (Día, Mes y Año)

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
3. MARCO REFERENCIAL	16
3.1 ANTECEDENTES	16
3.2 MARCO CONCEPTUAL	22
3.2.1 ALMACENES Y CENTROS DE DISTRIBUCIÓN	22
3.2.2 OPERACIONES EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN	24
3.2.2.1 Recepción	25
3.2.2.2 Envío a almacén	26
3.2.2.3 Preparación de pedidos (picking)	27
3.2.2.4 Comprobación y embalaje	27
3.2.2.5 Envío	28
3.2.3 Diseño de un centro de distribución	29
3.2.3.1 Geometría de pasillos convencionales	29
3.2.3.2 Geometrías de pasillos no convencionales	32
3.2.3.2.1 Diseño de pasillos Flying-V:	33

3.2.3.2.2	Diseño de pasillos Fishbone:	34
3.2.3.2.3	Diseño de pasillos Chevron	36
3.2.3.2.4	Diseño de pasillos “The Leaf”	37
3.2.3.2.5	Diseño de pasillos “The Butterfly”	38
3.2.3.3	Algunas implicaciones finales	40
4.	DESARROLLO METODOLÓGICO	43
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN	43
4.1.1	Proceso de descargue de mercancía en el CEDI (Proceso de entrada)	50
4.1.2	Distribución actual del CEDI	52
4.1.3	Calculo de tiempos de transporte al interior del CEDI para consolidar despachos	53
4.1.4	Herramienta de simulación en consolidación de pedidos distribución actual	57
4.1.5	Cálculo de tiempos de transporte al interior del CEDI para recepción de mercancía.	62
4.2	Geometría no tradicional seleccionada.	66
4.2.1	Adaptación del área actual del CEDI a la geometría no tradicional seleccionada	68
4.3	Simulación de despachos y recepciones de mercancía en la geometría Chevron	73
4.3.1	Herramienta de simulación en consolidación de pedidos con adaptación de geometría Chevron	73
4.3.2	Herramienta de simulación en recepción de mercancía con adaptación de geometría Chevron	76

5.	RESULTADOS	78
5.1	Analisis en ahorro de distancia, tiempo y dinero.	78
6.	CONCLUSIONES	84
7.	BIBLIOGRAFIA	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Actividades en recolección de órdenes	27
Tabla 2. Calculo tamaño de muestra ida	55
Tabla 3. Calculo tamaño de muestra regreso	55
Tabla 4. Medición del desempeño en despachos	56
Tabla 5. Velocidad estándar ida	56
Tabla 6. Velocidad estándar regreso	56
Tabla 7. Cálculo de distancias y tiempos de transporte en despacho de mercancía en geometría tradicional	58
Tabla 8. Productos por estiba	62
Tabla 9. Cálculo tamaño de muestra ida montacargas	64
Tabla 10. Cálculo tamaño de muestra regreso montacargas	64
Tabla 11. Medición del desempeño en recepción de mercancía	64
Tabla 12. Velocidad estándar ida de montacargas	65
Tabla 13. Velocidad estándar regreso de montacargas	65
Tabla 14. Cálculo de distancias y tiempos de transporte con recepción de mercancía en geometría tradicional	66
Tabla 15. Reducción de posiciones según referencia	71
Tabla 16. Calculo de distancias y tiempos de transporte con despachos en geometría Chevron	75
Tabla 17. Cálculo de distancias y tiempos de transporte con recepción de mercancía en geometría Chevron	77
Tabla 18. Diferencia diaria entre distancias y tiempos de transporte para despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron	80
Tabla 19. Diferencia diaria entre distancias y tiempos de transporte para recepción de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron	82

Tabla 20. Consolidada mensual de diferencia entre distancias y tiempos de transporte para recepción y despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron

83

¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Actividades básicas en la operación de almacenes	25
Imagen 2. Geometría de pasillos convencional	31
Imagen 3. Diseño de pasillos Flying-V	33
Imagen 4. Porcentaje de Mejora en la distancia de viaje esperado para almacenes Flying-V de tres longitudes de pasillos h (h en número de pallets)	34
Imagen 5. Diseño de pasillos Fishbond	34
Imagen 6. Porcentaje de Mejora en la distancia de viaje esperado para almacenes Fishbond de tres longitudes de pasillos h (h en número de pallets)	35
Imagen 7. Diseño de pasillos Chevron	36
Imagen 8. Diseño de pasillos “The Leaf”	37
Imagen 9. Diseño de pasillos “The Butterfly”	38
Imagen 10. % de mejora en las distancias recorridas según el número de pasillos, para tres diseños de pasillos	39
Imagen 11. Necesidades de área según número de pasillo para tres diseños de pasillos.	39
Imagen 12. Diseño de almacenes con almacenamiento según rotación	41
Imagen 13. (A) Comparación de almacenamiento dedicado para diseño Flying-V ; (B) Comparación de almacenamiento dedicado para diseño Fishbone.	42
Imagen 14. Diagrama de flujo de procesos de salida.	49
. Imagen 15. Diagrama de flujo de procesos de entrada de mercancía	51
Imagen 16. Carretas Metálicas	54
Imagen 17. Imagen de simulación en Excel® de la geometría de pasillos actual	59
Imagen 18 Simulación en Sketchup de la geometría de pasillos actual	60
Imagen 19. Simulación en Sketchup de la geometría de pasillos actual	60
Imagen 20. Simulación en Sketchup de la geometría de pasillos actual	60

Imagen 21. Montacargas	63
Imagen 22. Geometría Chevron propuesta en CEDI	69
Imagen 23. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI	70
Imagen 24. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI	70
Imagen 25. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI	70

LISTA DE GRAFICOS

Pág.

Gráfico 1. % de ahorro en tiempos de desplazamiento en alistamiento de pedidos entre la Geometría tradicional y la geometría Chevron	79
Gráfico 2. Ahorro en tiempos de desplazamiento en recepción de pedidos entre la geometría tradicional y la Chevron	81
Gráfico 3. % de ahorro en tiempo mensual de transporte para recepción y despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron	83

INTRODUCCION

El proceso de ubicación y dimensionamiento de almacenes es un factor estratégico al momento de diseñar sistemas logísticos, debido a que se convierte en un componente físico que genera ventajas competitivas de reducción de costos, tiempos de respuesta y servicio al cliente. El diseño de almacenes tiende a convertirse en una actividad variable y temporal que depende de diferentes condiciones específicas de la obra y que se desarrolla en mayor parte a través de la experiencia, dejando de lado el conocimiento y técnicas que pueden generar resultados con mayor eficiencia. A pesar de los avances realizados en el campo de la Ingeniería Industrial relacionados con el proceso de ubicación y dimensionamiento de instalaciones, se está dejando de lado la oportunidad de generar aplicaciones de innovación y desarrollo que determinen mejores prácticas en el proceso operativo de este tipo de empresas. Se han realizado estudios respecto a nuevos diseños en las geometrías de las bodegas o los centros de distribución y se ha demostrado la disminución en tiempos de desplazamiento en el interior de estos centros de distribución en el momento de alistar los pedidos. Esta investigación pretende analizar las nuevas geometrías como una opción de mejora en los sistemas logísticos.

Se espera poder brindar más información a las empresas logísticas que han investigado sobre las geometrías no tradicionales, que las ven como una oportunidad de mejora a sus procesos logísticos, pero que, por ausencia de información sobre su implementación, sobre aspectos importantes en la redistribución no encuentran soporte suficiente para la toma de decisiones, ya sea para redistribuir o para descartar esta opción.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las empresas logísticas colombianas deben encontrar en sus operaciones diarias la forma de reducir costos y ser competitivos sin que esto implique una reducción en la calidad de los servicios logísticos. Una oportunidad de mejora y de reducción de costos está en la selección de la geometría de las bodegas adecuada según el tipo de productos que se deseen almacenar ya que hay una estrecha relación entre la gestión de operaciones, manipulación de materiales y el diseño de layout en los centros de distribución.

La empresa en la cual se realizó este proyecto tiene un centro de distribución en el municipio de Yumbo y quiere determinar si la geometría de su bodega es la más eficiente en cuanto al flujo de materiales o si por el contrario sus procesos de alistamiento de pedidos podrían ser más eficientes, para eso se quieren evaluar las geometrías no tradicionales como The Butterfly (Mariposa), The Fishbone (Espina de pescado), The Leaf, The Flying-V y Chevron, que pueden ser opciones para este tipo de Centros de distribución (CEDI). En el marco teórico se profundizará conceptualmente en estas geometrías.

Estas geometrías trabajan en su mayoría con desplazamientos de estibas completas, Güe y Meller¹ argumentan que las distancias de viaje en almacenes de carga consolidada se pueden reducir hasta en un 20% mediante la configuración de los pasillos, modificando su ángulo y creando pasillos transversales; para ello presentan algunos diseños no tradicionales del área de layout, los cuales

¹ GÜE Kevin R. y MELLER, Russell D., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, En: Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

contribuyen con una reducción significativa en el tiempo de viaje en operaciones de picking, disminuyendo costos y mejorando la eficiencia.

Varias investigaciones sobre este tipo de geometrías parten de bodegas que recién van a seleccionar su geometría más conveniente, pero que pasa con aquellos centros de distribución que ya están organizados con una geometría tradicional y ven en las geometrías no tradicionales una opción de mejora de sus operaciones pero no tienen claridad sobre las limitaciones que eso implicaría para la operación diaria del CEDI, o la facilidad de adaptación, o la reducción de capacidad del almacén por la nueva geometría. Esto nos lleva a la pregunta fundamental de esta investigación:

¿Se pueden reducir los tiempos de recorrido en alistamiento de pedidos y recepción de mercancías a través de la redistribución de pasillos a una geometría no tradicional?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Presentar una propuesta de redistribución de una bodega para adaptarla a una geometría no tradicional en un centro de distribución de productos de línea blanca

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar la operación del centro de distribución de productos de línea blanca
- Seleccionar la geometría no tradicional más adecuada que garantice el incremento en la productividad de la operación del centro de distribución de productos de línea blanca.
- Configurar el proyecto de redistribución de planta recomendado al centro de distribución de productos de línea blanca.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. ANTECEDENTES

El papel de los almacenes en la cadena de abastecimiento ha evolucionado de ser instalaciones dedicadas a almacenar a convertirse en centros enfocados al servicio y al soporte de la organización. Un almacén y un centro de distribución eficaz tienen un impacto fundamental en el éxito global de la cadena logística. Para ello, este centro debe estar ubicado en el sitio óptimo, estar diseñado de acuerdo a la naturaleza y operaciones a realizar al producto, utilizar el equipamiento necesario y estar soportado por una organización y sistema de información adecuado².

Los objetivos del diseño y layout de los centros de distribución son facilitar la rapidez de la preparación de los pedidos, la precisión de los mismos y la colocación más eficiente de existencias, todos ellos en pro de conseguir potenciar las ventajas competitivas contempladas en el plan estratégico de la organización, regularmente consiguiendo ciclos de pedido más rápidos y con mejor servicio al cliente. Esto además es de gran importancia para minimizar los costos totales de manejo de la bodega que con frecuencia se traduce en la minimización de la distancia total de recorrido a través de la bodega, además, la recolección de pedidos por lo regular es de mayor interés que el almacenamiento de artículos, ya que el gasto de mano

² SALAZAR LOPEZ, Bryan. Diseño y Layout de almacenes y centros de distribución. [En línea] disponible en <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-de-almacenes/dise%C3%B1o-y-layout-de-almacenes-y-centros-de-distribuci%C3%B3n/>

de obra para recoger la mercancía desde un almacén es mucho mayor que el requerido para almacenarlo³.

En un almacén tradicional, las estanterías de almacenamiento se organizan para crear pasillos paralelos, tal vez con uno o más pasillos transversales para permitir que los trabajadores se muevan rápidamente entre pasillos. Esta estructura obliga a los trabajadores a viajar distancias rectilíneas (norte- sur y este- oeste) a ubicaciones de picking. Pero en Colombia poco se han tenido en cuenta geometrías no tradicionales para la construcción de centros de distribución y mucho menos el cambio de una geometría tradicional a una no tradicional.

La investigación de diferentes autores sobre nuevos diseños de geometrías para bodegas garantiza la reducción de tiempos de desplazamiento dentro de los mismos. Güe y Meller (2009) argumentan que las distancias de viaje en almacenes de carga consolidada se pueden reducir hasta en un 20% mediante la configuración de los pasillos, modificando su ángulo y creando pasillos transversales. Los diseños no tradicionales de geometrías en centros de distribución que se tendrán en cuenta para la investigación son: Flying V, Fishbone, Chevron, The leaf y The Butterfly. Sin embargo, el tamaño del almacén debe ser ligeramente más grande para compensar el espacio perdido, pero esto será compensado con la eficiencia de un viaje más directo.⁴ La descripción de cada una de estas geometrías se realizará en el desarrollo de la tesis al igual que la selección de las geometrías que podrían ser útiles para el centro de distribución de electrodomésticos de General Electric.

³ BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición PEARSON EDUCACIÓN, México, 2004. 816 p

⁴ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com.

Se realizó una búsqueda de bibliografía acerca de las geometrías no tradicionales y su implementación a partir de centros de distribución que tenían ya una geometría tradicional y se encontró la siguiente información:

Jiménez, Manotas y Villota⁵ realizaron un estudio con la Universidad del Valle, su propuesta metodológica supone dos fases, en la primera se debe trabajar con las condiciones iniciales con que cuenta el centro de distribución (geometría tradicional), es decir, el tipo de configuración y el método de disposición de almacenamiento que este utiliza. Una vez aplicada la fase 1, se obtendrán unas órdenes de recolección base, que serán replicadas y probadas bajo fase 2, en el cual se utilizan diferentes métodos de disposición de almacenamiento para las dos configuraciones del área de almacenamiento: la tradicional y la propuesta por ellos que es la geometría Fishbone. Para elaborar la simulación utilizaron el software Excel®, más específicamente se crea una macro en Visual Basic®, la cual se programa con el software Lingo®. Los autores recomiendan que, cuando un centro de distribución tradicional ya existente opta por una configuración no tradicional, debe tener en cuenta algunas características: que el nuevo diseño se ajuste a los estándares de diseño forma rectangular que presenta la configuración tradicional, la distancia entre los pasillos y la longitud y el ancho del área de layout. Recomiendan la configuración de layout basada en el modelo espina de pescado para aquellos almacenes en proyecto de construcción.

Por el contrario, para aquellos que ya cuentan con una configuración tradicional y quieran adoptar esta nueva configuración, es necesario primero que determinen si los ahorros generados por dicho cambio, justifican la inversión requerida para lograrlo. En este estudio, el ahorro en el tiempo total de operación es bajo para

⁵ JIMÉNEZ CARABALÍ, Víctor Javier, MANOTAS DUQUE, Diego Fernando, VILLOTA GARCÍA Rosana Marisol. Configuración de pasillos en centros de distribución basada en modelos no tradicionales: Modelo espina de pescado. **Entramado**. Vol. 9, No. 1., (2013)

ambas configuraciones, ya que la mayor parte de éste es consumido por el tiempo total de cargue de los productos, es decir, que si se logra una disminución significativa en las operaciones de cargue, se obtendrá un mayor ahorro en los tiempos totales de operación.⁶

Por su parte, Meller y Gue⁷ mencionan en su artículo “The Application of New Aisle Designs for Unit-Load Warehouses” sobre algunas de las primeras implementaciones de estas geometrías no tradicionales en algunas empresas en los Estados Unidos y demuestran las mejoras generadas en los almacenes de estas empresas. Una de estas es la implementación realizada en el 2007 en un almacén Whitewater, WI. Este almacén fue construido por General Power Systems, un fabricante de generadores. En su mayor parte, esta instalación es un almacén de carga unitaria, con todo el producto recibido en pallets y casi todas las órdenes para despachar son en pallet (completo) de los generadores. Así, pallets de generadores, que se envían desde la planta de fabricación de General, se descargan en pallets desde los camiones y son ubicados en una zona central de descargue, la cual sirve también como el punto de recogida para el almacén. Los pallets son recogidos en la zona de descargue con montacargas y son llevados a un área de almacenamiento que se configura con un pasillo en forma de V. El almacén de General ha reportado resultados positivos asociado con el nuevo diseño, en particular, General power system cita la mejora del flujo de materiales y de las distancias de viaje reducidos,

⁶ JIMÉNEZ CARABALÍ, Víctor Javier, MANOTAS DUQUE, Diego Fernando, VILLOTA GARCÍA Rosana Marisol. Configuración de pasillos en centros de distribución basada en modelos no tradicionales: Modelo espina de pescado. **Entramado**. Vol. 9, No. 1., (2013), pp.214-225. ISSN 1900-3803

⁷ GÜE Kevin R. y MELLER, Russell D., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, En: Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

pero la compañía ha dado cuenta de algunos beneficios inesperados, así como por ejemplo, los trabajadores ya no tienen que realizar giros de 90 grados para entrar en los pasillos de picking, los giros de 45 grados son más fáciles de hacer, el resultado es el incremento de la productividad.⁸

Russell D. Meller y Kevin R. Güe, hablan en este mismo artículo de una empresa en Florida, la cual parece ser la segunda empresa en Estados Unidos en utilizar una geometría no tradicional, esto ocurrió en el 2008 y no mencionan el nombre de la compañía por razones de confidencialidad.⁹ De igual manera que en Generac, en su mayor parte esta instalación maneja la unidad de cargas, con todo el producto recibido en pallets y la mayoría de las órdenes de despachos están en pallets completos (o para un pallet consistente de dos elementos). Ellos acogieron una geometría de pasillos similar a Fishbone, en donde a diferencia de la implementación en Generac Power System con una ubicación céntrica para recoger y despachar, en este centro de distribución los pallets se reciben a lo largo de la parte superior de la geometría, posteriormente los pallets se almacenan en un bloque de apilamiento en configuración simple, doble o triple de profundidad. Los pallets para despacho son llevados a una estación ubicada en la parte inferior de la geometría del centro de distribución, después de este paso, los pallets son llevados a las puertas de envío situado en la parte inferior. Del mismo modo que con Generac Power System la instalación era nueva donde el personal de la empresa trabajó directamente con ellos en este nuevo diseño. La gestión de esta instalación se complace en los aumentos en el rendimiento que han sido logrados hasta la fecha; por ejemplo, informan los mismos niveles de producción con menos trabajadores.¹⁰

⁸ GÜE Kevin R. y MELLER, Russell D., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, En: Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

⁹ Ibíd.,p 5.

¹⁰ Ibíd.,p 5.

Luis Cardona, Diego Soto, Leonardo Rivera y Héctor Martínez¹¹ realizaron un método para generar un diseño detallado tridimensional de la geometría Fishbone de pasillos, el modelo utilizado utiliza una secuencia matemática finita y representa el diseño Fishbone en términos de cuatro características primarias, luego desarrollaron un algoritmo que genera un diseño de Fishbone en detalle dando valores a estas características primarias. Presentan un modelo optimizado de estas características, minimizando el costo operacional total del centro de almacenamiento. El propósito de este estudio fue disminuir la dependencia entre los expertos y la decisión humana en el proceso de implementación de un diseño Fishbone en los proyectos de mejora de los centros de almacenamiento.

Güe y colaboradores¹² presentan un modelo de espacio continuo para viajes en un almacén de carga unitaria que permite que los pasillos y naves de recogida puedan tomar cualquier ángulo. El modelo produce diseños óptimos para uno, dos y tres almacenes de pasillo cruzado, que llamaron Chevron, Leaf y Butterfly. Ellos usaron un modelo discreto más exacto para mostrar qué diseños son los mejores para una amplia gama de tamaño de almacenes. Muestran como el diseño de Chevron, que es relativamente nuevo en la práctica, es el mejor diseño para muchas aplicaciones industriales.

¹¹ CARDONA, Luis F., SOTO, Diego F., RIVERA, Leonardo, MARTINEZ, Hector, Detailed design of Fishbone warehouse layout with vertical travel, Int. J. Production Economics Elsevier, vol. 170 (2015) 825–837

¹² GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKÖĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: IIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

3.2. MARCO CONCEPTUAL

Para ilustrar algunos conceptos importantes a tener en cuenta en el desarrollo de esta investigación se han tenido en cuenta las definiciones de varios autores reconocidos en el área logística y más específicamente enfocados en el adecuado manejo de centros de distribución y almacenes, entre ellos están John J. Bartholdi, Steven T. Hackman, Kevin R. Gue, Russell D. Meller y Ronald H. Ballou entre otros.

3.2.1. Almacenes y centros de distribución

El término almacén de distribución o centro de distribución se usa, principalmente, para diferenciarlo de un almacén de depósito. La diferencia es cuánta importancia se da a las actividades de mantenimiento, así como al tiempo en que los bienes están almacenados. Un almacén de depósito implica que gran parte del espacio del almacén se dedica al almacenamiento semipermanente o de largo plazo, por lo contrario, un almacén de distribución tiene la mayor parte de su espacio asignado al almacenamiento temporal, y se le da más atención a la velocidad y facilidad del flujo del producto. Obviamente, muchos almacenes operan con ambas capacidades y la diferencia es cuestión de grado. En el límite, un almacén puede centrarse sólo en actividades de recepción y expedición, eliminando actividades de almacenamiento y de recolección de pedidos. A dichos almacenes se les denomina centros de consolidación (cross docking), o puntos de agrupamiento. Los bienes se transfieren directo desde los muelles de recepción y de expedición con poco o ningún almacenamiento. La transferencia por lo general se completa en menos de 24 horas. Comparado con enviar los bienes directo desde sus puntos de origen, el cruce de andén o centro de consolidación se justifica por las economías de transportación que pueden lograrse.¹³

¹³ BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición Pearson Educación, México, 2004. 816 p

Los centros de distribución nos permiten responder rápidamente cuando cambia la demanda. El tiempo de respuesta también puede ser un problema cuando el transporte no es confiable.

El resultado es que el tiempo de entrega es largo y variable. Si el producto está almacenado más cerca del cliente, podría ser enviado más rápidamente, con menos variación en el tiempo de entrega, y así proporcionar un mejor servicio al cliente.¹⁴

Un centro de distribución consta de varios subsistemas componentes, incluyendo la recepción, almacenamiento, la recogida de la orden, y el envío. Quizás el bloque de construcción más común en estos sistemas sea el área de almacenamiento de pallets, que consta de bastidores de almacenamiento, pasillos entre ellos, y uno o más puntos de recogida y depósito (P & D). En la literatura académica esta área es comúnmente llamado "warehouse" o centro de distribución.¹⁵

Según Ronald H. Ballou,¹⁶ el sistema de almacenamiento puede separarse en dos funciones importantes: la posesión (almacenamiento) y el manejo (o manipulación) de materiales. El manejo de materiales se refiere a las actividades de carga y descarga, al traslado del producto hacia y desde las diversas ubicaciones dentro del almacén y a recoger el pedido. El almacenamiento simplemente es la acumulación de inventario en el tiempo. Se eligen diversas ubicaciones en el almacén y diferentes

¹⁴ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com

¹⁵ GUE, Kevin, y MELLER, Russell., Aisle Configurations for Unit-Load Warehouses, JIIE Transactions. January 2009 vol 41 Issue 3: Design & Manufacturing. P, 171-182

¹⁶ BALLOU, Op cit., p 473

periodos de tiempo, dependiendo del propósito del almacén. Dentro del almacén, estas actividades de traslado-almacenamiento son repetitivas y análogas a las actividades de traslado-almacenamiento que ocurren entre varios niveles del canal de suministros. Por eso, de muchas maneras, el sistema de almacenamiento es un sistema de distribución a nivel micro. La identificación específica de las actividades del sistema principal promueve la comprensión del sistema como un todo, y ayuda a suministrar una base para generar alternativas de diseño.

3.2.2. Operaciones en un centro de distribución

Las operaciones en un centro de distribución según Bartholdi y Hackman¹⁷ se pueden clasificar a través de los siguientes procesos físicos: procesos entrantes y procesos salientes. (Ver Imagen1)¹⁸

- Procesos entrantes
 - Recepción
 - Guardar
- Procesos de salida
 - Preparación de pedidos
 - Comprobación, embalaje, envío

¹⁷ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com.

¹⁸ Ibíd.,p 24.

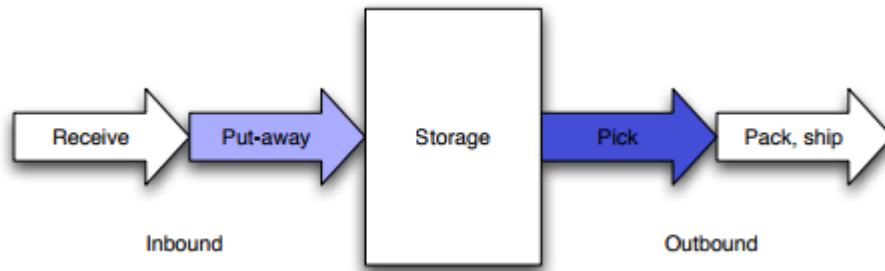


Imagen 1. Actividades básicas en la operación de almacenes

3.2.2.1. Recepción

La recepción puede comenzar con notificación previa de la llegada de mercancías. Esto permite al almacén programar la recepción y la descarga para coordinar eficientemente con otras actividades dentro del almacén. Una vez que el producto ha llegado, es descargado y posiblemente puesta en escena para guardar. Es probable que se escanee para registrar su llegada para que se asuma la propiedad, los pagos de transporte de modo que se sabe que está disponible para satisfacer la demanda del cliente. Los productos Serán inspeccionados y cualquier excepción será registrada, tales como daños, cuentas incorrectas, errores, descripciones, y así sucesivamente. El producto llega típicamente en unidades más grandes, tales como pallets, desde el proveedor. (Sin embargo, las paletas mixtas pueden necesitar ser rotas en cajas separadas; y los cartones sueltos pueden necesitar ser paletizados para el almacenamiento.) La recepción recibe alrededor del 10% de los costos de operación en una distribución típica central y se espera que utilizando tecnologías como la radiofrecuencia (RFID) reduzca aún más este costo.¹⁹

¹⁹ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com.

3.2.2.2. Envío a almacén

Antes de que el producto pueda ser guardado, debe determinarse un lugar de almacenamiento adecuado. Esto es muy importante porque donde se almacena el producto determina en gran medida la rapidez y el costo con el que se alistará un pedido para un cliente más adelante. Esto requiere un segundo inventario, no del producto, sino de los lugares de almacenamiento. Usted debe saber qué lugares de almacenamiento están disponibles, cuán grandes son, cuánto peso puede soportar, etc.²⁰

Cuando el producto es guardado, la ubicación de almacenamiento también debe ser escaneada para grabar donde se ha colocado el producto. Esta información se utilizará posteriormente para la creación de listas de selección eficientes para guiar a los selectores de pedidos en la recuperación del producto para clientes.²¹

El envío del producto a su lugar de almacenamiento puede requerir una buena cantidad de trabajo porque el producto puede necesitar ser movido una distancia considerable. El transporte de los productos hasta su lugar de almacenamiento dentro de un centro de distribución suele representar alrededor de 15% de los gastos de operación del almacén.²²

²⁰ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com

²¹ *Ibíd.*, p 25

²² *Ibíd.*, p 26

3.2.2.3. Preparación de pedidos (picking)

Al recibir una orden de un cliente, el almacén debe realizar controles tales como verificar que el inventario está disponible para enviar. A continuación, el almacén debe elaborar listas de la orden de recogida. Por último, deberá presentar toda la documentación de programar la orden de recogida y envío. Estas actividades se llevan a cabo a través de un sistema de gestión de almacenes, un gran sistema de software que coordina las actividades del almacén. Todo esto es parte del apoyo para acelerar el envío del producto al cliente. La selección de pedidos suele representar aproximadamente el 55% de los costos de operación del almacén; y la recogida de órdenes puede clasificarse de la siguiente manera:(Ver tabla 1)²³

Tabla 1. Actividades en recolección de órdenes

<i>Actividad</i>	<i>% de tiempo en alistamiento</i>
<i>Viajando</i>	55%
<i>Buscando</i>	15%
<i>Extrayendo</i>	10%
<i>Papeleo y otras actividades</i>	20%

3.2.2.4. Comprobación y embalaje

El embalaje puede ser de mano de obra intensiva porque depende de las características de solicitud de cada cliente; la verificación del pedido requiere de un tiempo para comprobar que la orden del cliente es completa y precisa. La precisión de la orden es una clave medida del servicio al cliente. Las órdenes inexactas no

²³ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com

sólo molestan a los clientes también generan reprocesos que son caros de manejar.²⁴

Una complicación del embalaje es que los clientes generalmente prefieren recibir partes de su pedido en tan pocos contenedores como sea posible porque esto reduce los gastos de manejo. Esto significa que debe tenerse cuidado de tratar de obtener todas las partes para embalar junto todo el pedido, o bien pedidos parciales deben ser envasados y enviados dependiendo de las necesidades de tiempo del cliente.²⁵

3.2.2.5. Envío

El envío maneja generalmente unidades más grandes que picking, porque el embalaje ha consolidado los artículos en menos envases (cajas, paletas). En consecuencia, todavía hay menos mano de obra aquí. Generalmente el producto debe cargarse en orden inverso de entrega, se debe tratar por principio de consolidación llenar completamente cada remolque.²⁶

Es probable que el trailer sea escaneado aquí para registrar su salida del almacén. Además, se puede enviar una actualización de inventario al cliente.²⁷

²⁴ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com

²⁵ Ibid., p 27

²⁶ Ibid., p 27

²⁷ Ibid., p 28

3.2.3. Diseño de un centro de distribución

3.2.3.1. Geometría de pasillos convencionales

Los almacenes en la industria se componen típicamente de estanterías de una o de doble profundidad dispuestos en pasillos de recogida paralelos. En los almacenes donde se realizan procesos de picking, los trabajadores viajan a través de pasillos con carritos de recogida (Transpaletas, montacargas, recoge pedidos) y realizan la ruta de recogida de artículos o de los pallets almacenados. Almacenes grandes suelen tener uno o más pasillos transversales, que tienden a reducir el recorrido y la distancia entre selecciones sucesivas en un tour de alistamiento de pedidos.²⁸

Cuando el producto se almacena en lugares convenientes, es fácil de alistar lo solicitado por un cliente. Pero lo que se entiende por "conveniencia" depende de modelos de trabajo y del espacio. Estos modelos son más sencillos para los pallets, porque tienen dimensiones estándar y son, en muchos casos, manejados uno a la vez. El concepto de "Conveniencia" se hace progresivamente más difícil de fijar como discutimos unidades más pequeñas de almacenamiento y manipulación, tales como cartones y piezas.²⁹

En los almacenes de carga unitaria, los artículos son estibados y recuperados en pallets, y cada recogida es para un solo pallet. Los centros de distribución de carga unitaria son utilizados de dos maneras generalmente: uno, como áreas de selección

²⁸ De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J., Design and control of warehouse order picking: a literature review. En: European Journal of Operational Research 182(2), (2007). p, 481-501.

²⁹ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com.

de pedidos, donde los productos se reciben y se envían en cantidades de pallets y dos como áreas de reserva que reponen zonas de captura rápida.³⁰ Las operaciones de carga unitaria también son comunes en el cross docking, donde los pallets se almacenan brevemente antes de ser cargadas en camiones de salida.

Los almacenes de carga unitaria pueden usar ciclos de un solo comando, ciclos de doble comando o ambos. En un ciclo de mando único, un trabajador recoge un pallet o realiza una selección en cada viaje en el almacén. Por lo tanto, el viaje es hacia y desde una única ubicación de almacenamiento. En un comando dual a menudo denominado "intercalado de tareas", un trabajador visita dos lugares de almacenamiento por viaje. Los comandos dobles son más eficientes respecto al viaje, pero requieren la recepción concurrente, el envío y operaciones y sistemas informáticos avanzados para dirigir a los trabajadores a las selecciones. Como resultado, son más comunes las operaciones de un solo comando.³¹

Para facilitar el picking y realizar alistamientos más eficientes los diseñadores de almacenes han insertado un pasillo transversal (ver imagen 2)³², que en menos de una unidad de carga en operaciones de recolección (por ejemplo, recoger cajas de pallets) tiene algunas ventajas, pero si un almacén de carga unitaria usa comandos únicos o dobles determina, hasta cierto punto, el diseño del espacio de

³⁰ BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.warehouse-science.com.

³¹ GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

³² Ibíd., p 2.

almacenamiento. Si las operaciones son exclusivamente de comando único, entonces un pasillo central tradicional no confiere ningún beneficio. Es fácil ver por qué: si el El punto P & D está a lo largo del límite inferior del espacio de picking, insertando un pasillo transversal se mueve aproximadamente la mitad de los lugares más alejados. No hay un beneficio correspondiente porque la distancia de viaje a cada ubicación sigue siendo la distancia rectilínea del punto P & D. Si las operaciones son exclusivamente de doble mando, entonces un pasillo intermedio puede ser beneficioso, dependiendo sobre el tamaño del almacén.³³

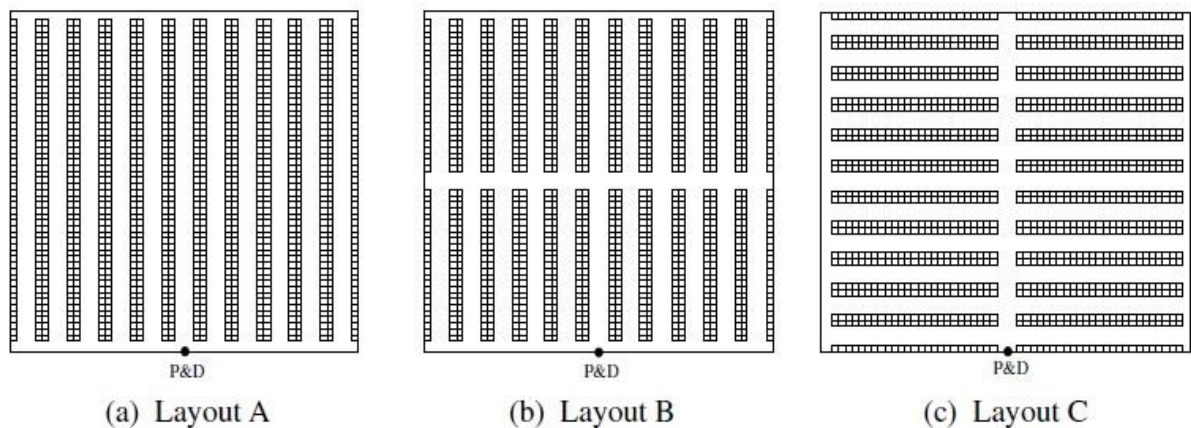


Imagen 2. Geometría de pasillos convencional

³³ De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J., Design and control of warehouse order picking: a literature review. En: European Journal of Operational Research 182(2), (2007). p, 481-501.

3.2.3.2. Geometrías de pasillos no convencionales

Kevin R. Gue y Russell D. Meller³⁴ en el 2009, realizan unas propuestas de ubicación de estanterías en un centro de distribución cuyo objetivo es minimizar la distancia de recorrido esperada para un ciclo recogida de una unidad de carga de un centro de distribución que utiliza el almacenamiento al azar. Asumieron que hay un solo P & D (punto de partida y llegada) en la parte inferior central del centro de distribución. Un solo punto de P & D podría representar una paletización, una máquina retractiladora, o la estación donde los trabajadores reciben sus instrucciones de picking. Se asume, que los trabajadores operan independientemente y no interfieren entre sí, es decir, no hay congestión. En su experiencia ellos asumen que esto es una suposición razonable porque el número de trabajadores en la mayoría de los almacenes de carga unitaria no es lo suficientemente grande como para crear una congestión significativa, y los pasillos típicos son bastante anchos para permitir el paso.

Algunas de estas recomendaciones de geometrías de pasillos no convencionales sugeridas por estos autores son:

³⁴ MELLER, Russell D. y GÜE, Kevin R., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, Proceedings of 2009 NSF. En: Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

3.2.3.2.1. Diseño de pasillos Flying-V

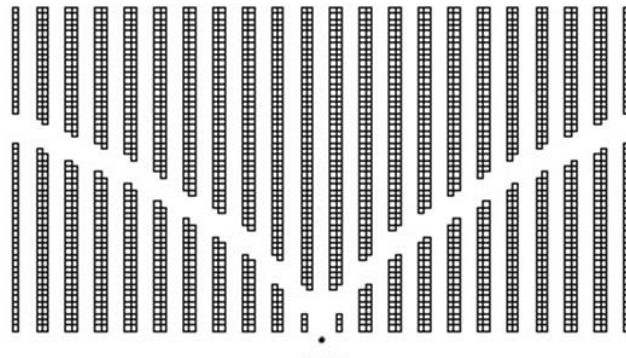


Imagen 3. Diseño de pasillos Flying-V

Para este diseño, que nombraron diseño "Flying-V"(Ver imagen3)³⁵: debido a su forma, insertaron un pasillo cruzado hacia el espacio de almacenamiento y no restringido para cumplir con los pasillos de picking sólo en ángulo recto. Es decir, Güe y Meller formularon un modelo de optimización que seleccione la intersección del pasillo transversal insertado con los pasillos de recogida permitiendo que la intersección ocurra en un punto diferente para cada pasillo de picking. En la figura se muestra el resultado para un almacén con 21 Pasillos y 100 lugares de recogida por pasillo de recogida.³⁶

Se puede observar que el pasillo transversal óptimo está ligeramente "curvado" (es en realidad lineal por piezas). El diseño del diseño Flying-V tiene una distancia de viaje esperada de un 10,0 por ciento más baja que la de un almacén de pasillo paralelos con la misma longitud total de pasillos. Se debe tener en cuenta que esta comparación cuenta el espacio adicional necesario en el diseño Flying-V para

³⁵ MELLER, Russell D. y GÜE, Kevin R., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, Proceedings of 2009 NSF. En: Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

³⁶ Ibíd., p2.

insertar un pasillo cruzado. La idea principal detrás del diseño de Flying-V es que un pasillo transversal que corta diagonalmente a través de los pasillos, ofrece una especie de "ventaja euclidiana", que permite a los trabajadores llegar a la mayoría de los lugares más rápidamente (ver imagen 4)³⁷

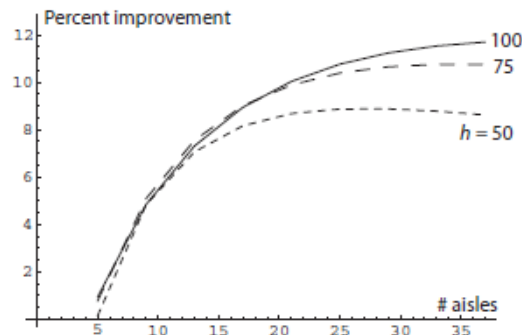


Imagen 4. Porcentaje de Mejora en la distancia de viaje esperado para almacenes Flying-V de tres longitudes de pasillos h (h en número de pallets)

3.2.3.2.2. Diseño de pasillos Fishbone:

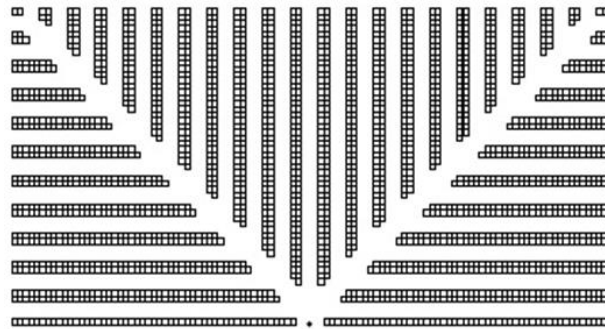


Imagen 5. Diseño de pasillos Fishbond

El segundo diseño de Güe y Meller que muestran en su publicación del 2009, no tiene en cuenta el supuesto tácito que los pasillos de picking deben ser paralelos

³⁷ MELLER, Russell D. y GÜE, Kevin R., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, Proceedings of 2009 NSF. En: Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

entre sí(ver imagen 5)³⁸. Observe que las selecciones a lo largo de la parte inferior del diseño Flying-V todavía requieren recorridos rectilíneos. El diseño del pasillo "Fishbone" supera esta desventaja al girar los pasillos de recogida a 90 grados. La figura muestra el resultado de esta optimización. Este modelo equivalente de 21 pasillos de recogida vertical, cada uno de los cuales tiene una longitud de 50 posiciones de paletas. En este caso, es óptimo para el pasillo transversal insertado para correr a la esquina del almacén. Este diseño espera tener distancias de viaje de 20,4 por ciento más baja que un equivalente en un almacén tradicional(ver imagen 6)³⁹. Este diseño requiere un espacio adicional necesario para insertar un pasillo transversal.

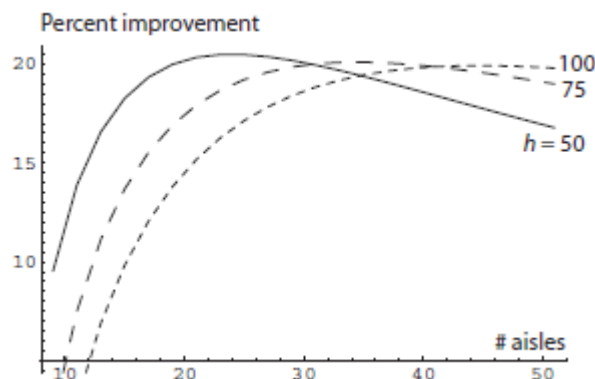


Imagen 6. Porcentaje de Mejora en la distancia de viaje esperado para almacenes Fishbond de tres longitudes de pasillos h (h en número de pallets)

³⁸ Ibíd., p 3.

³⁹ MELLER, Russell D. y GÜE, Kevin R., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, Proceedings of 2009 NSF. En: Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

3.2.3.2.3. Diseño de pasillos Chevron

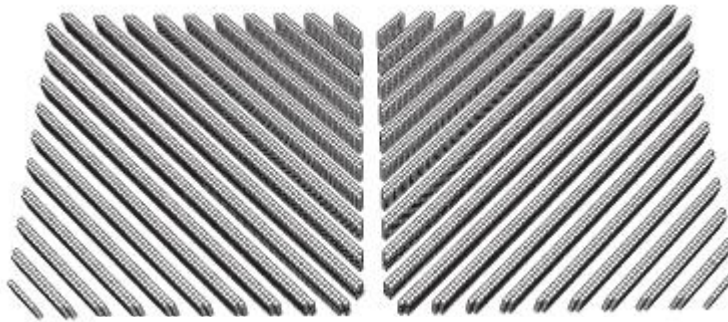


Imagen 7. Diseño de pasillos Chevron

Una desventaja del diseño de Fishbone(ver imagen 7)⁴⁰ es el acceso limitado al espacio de almacenamiento debido a un único punto central de P & D. El tercer diseño de Güe y Meller, al que llaman "Chevron aisles" es un intento de abordar esta preocupación. Con suposiciones comparables sobre anchos de pasillo, etc., Las reducciones en la distancia de viaje están muy cerca de las reducciones para el Diseño Fishbone. Esto puede ser visto considerando la misma ubicación en el diseño y observando que los viajes en el diseño Fishbone es a lo largo de la diagonal, a continuación, horizontal o vertical a la ubicación, mientras que el viaje en una Chevron es Vertical u horizontal, a lo largo de un pasillo diagonal de picking a la ubicación. En este sentido, los pasillos Chevron son una especie de "Dual" a los pasillos de Fishbone.

Ömer Öztürkoğlu y Russ Meller en el artículo titulado "Optimal unit-load warehouse designs for single-command operations" del año 2012, se presentan tres nuevos diseños: Chevron, Leaf y Butterfly, cada uno de los cuales es óptimo para una variedad de tamaños de almacén.⁴¹

⁴⁰ MELLER, Russell D. y GÜE, Kevin R., The Application of New Aisle Designs for Unit-LoadWarehouses, Proceedings of 2009 NSF. En: Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii. 2009

⁴¹ GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKOĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: IIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

3.2.3.2.4 Diseño de pasillos “The Leaf”

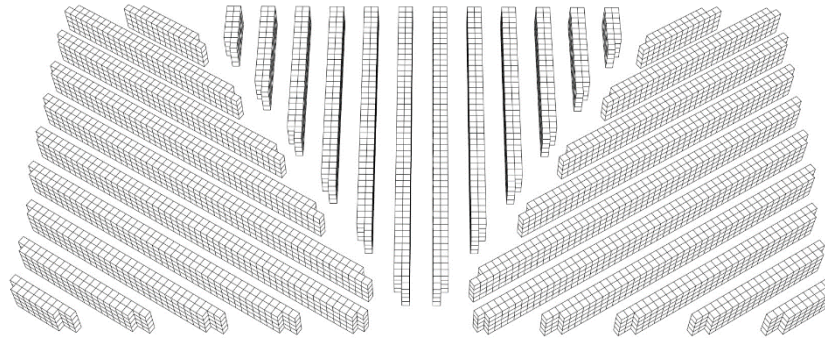


Imagen 8. Diseño de pasillos “The Leaf”

Este diseño es similar al de Fishbone (ver imagen 8)⁴², ya que tiene dos segmentos de pasillo cruzado, pero se ha flexibilizado en el requisito de que los pasillos de recolección sean verticales u horizontales. Los pasillos transversales en el diseño “The Leaf” son más escarpados que en un diseño “Fishbone”, y los pasillos en los lados derechos e izquierdos están en un ángulo que reduzca recorrido esperado.

Se debe tener en cuenta que el diseño de “The Leaf” requiere más espacio alrededor del punto de recogida y depósito (P & D) en la parte inferior, lo cual es una desventaja del diseño. Este fenómeno es aún más notable en la Mariposa:

⁴² GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKÖĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: JIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

3.2.3.2.5. Diseño de pasillos “The Butterfly”

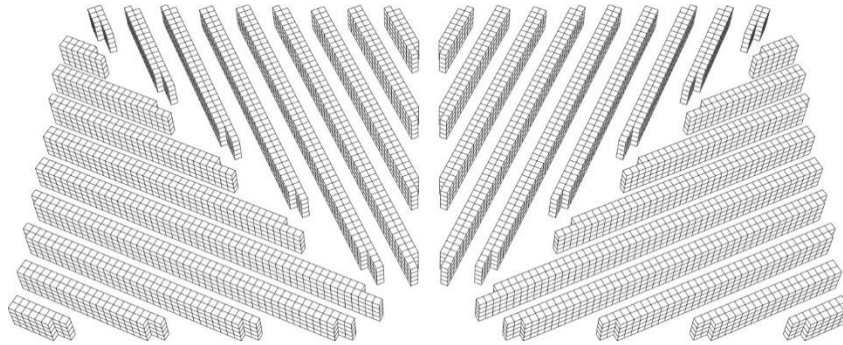


Imagen 9. Diseño de pasillos “The Butterfly”

En este diseño, (Ver imagen 9)⁴³ el aumento del número de pasillos cruzados hace que el viaje se acerque y se acerque más a un "viaje por vuelo" directo, pero a costa de desplazar las ubicaciones más cercanas al punto de P & D, la pregunta sería ¿Cuándo ya no es beneficioso agregar pasillos cruzados adicionales? (ver imagen 10 y 11)⁴⁴

Los autores responden parcialmente esta pregunta y se puede observar en la imagen 10, donde se observa que el diseño de Chevron tiene la menor distancia de viaje esperada (el mayor porcentaje de mejora respecto a un diseño tradicional) cuando el número de pasillos en un diseño tradicional equivalente es de 27 o menos. Para almacenes entre 29 y 63 pasillos, el diseño “The Leaf” es ligeramente mejor que Chevron. Para almacenes de más de 65 naves, “The Butterfly” es siempre ligeramente mejor que “The Leaf”.

⁴³ GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKOĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: IIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

⁴⁴ Ibíd., p

Imagen 10. % de mejora en las distancias recorridas según el número de pasillos, para tres diseños de pasillos

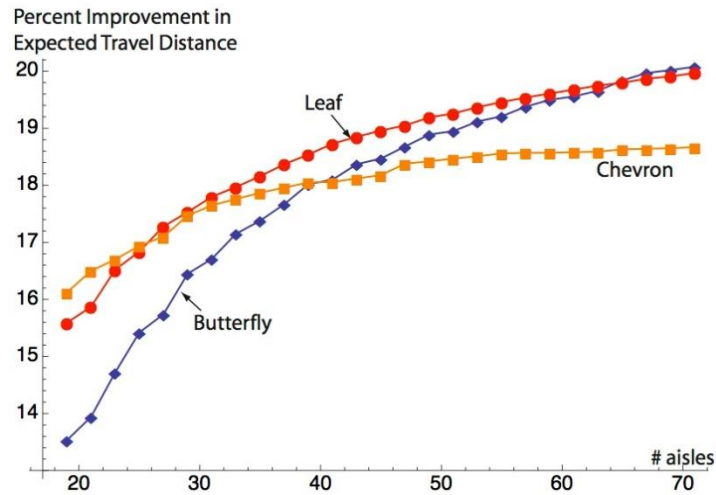
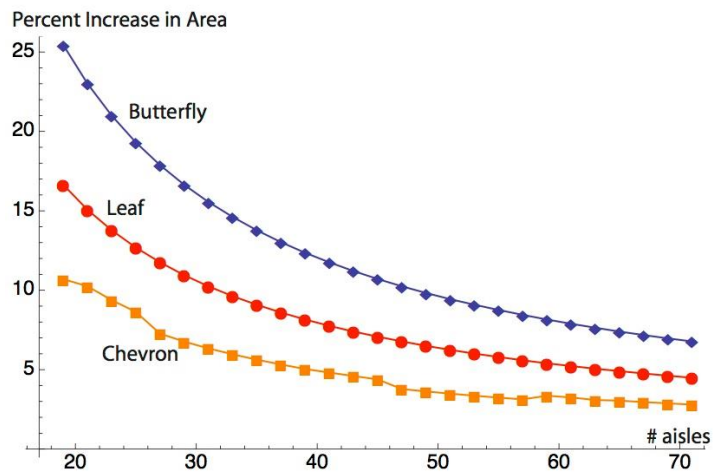


Imagen 11. Necesidades de área según número de pasillo para tres diseños de pasillos.



Esta observación les lleva a concluir a los autores de este estudio que para operaciones conformes a las hipótesis planteadas, Chevron es el mejor diseño para almacenes de tamaño realista.

3.2.3.3. Algunas implicaciones finales

La inserción de cualquier tipo de pasillo transversal reduce la densidad de almacenamiento. Por lo tanto, los diseñadores deben luchar con la compensación de un espacio de almacenamiento ligeramente más grande que una reducción en costos.⁴⁵

Algunos de los trabajos en curso por Gue y Meller se centran en examinar algunas de las suposiciones hechas al evaluar los diseños anteriores. Es decir, se está en el proceso de examinar el impacto en los ahorros que se pueden realizar en almacenes en los que:

1. las operaciones de almacenamiento y recuperación son intercaladas;
2. el número de puntos de P & D es mayor que uno; y
3. la densidad de almacenamiento no es uniforme.

Políticas de almacenamiento no aleatorio: En el área de un almacén, es típico utilizar almacenamiento aleatorio (o más precisamente, no considerar la rotación del producto en el orden de colocación de los pallets en la asignación entrantes a las ubicaciones de almacenamiento).

⁴⁵ GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

Güe y Meller⁴⁶ han investigado el comportamiento del diseño Flying-V y Fishbone bajo almacenamiento teniendo en cuenta la rotación del producto. Como se ve en la figura, los lugares de almacenamiento más oscuros son inversamente proporcionales a la distancia desde el punto de P & D, es decir, las ubicaciones más oscuras son mejores.

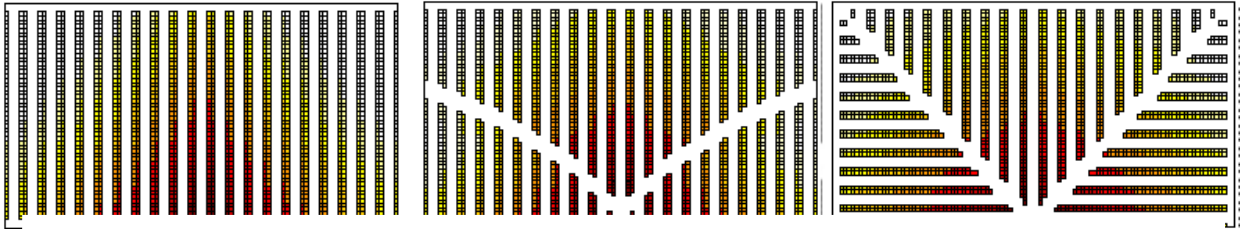


Imagen 12. Diseño de almacenes con almacenamiento según rotación

Al conectar ubicaciones del mismo nivel de actividad, Podemos formar líneas de contorno. Las curvas de nivel del almacén tradicional (imagen 13)⁴⁷ dan una forma que refleja el recorrido rectilíneo, mientras que el contorno líneas del diseño fishbond (imagen 13). Una forma casi semicircular. Las líneas de contorno en el almacén Flying-V (imagen 13) son más difíciles de caracterizar debido a dos trayectos en este tipo de almacén. Es decir, en el almacén Flying-V se accede a algunos puntos desde el pasillo transversal inferior y se accede a los puntos restantes desde el pasillo cruzado insertado. Las comparaciones de rendimiento bajo un solo comando operaciones para una variedad de actividad relativa de artículos (por ejemplo, 20/80 indica que el 20% de los artículos son responsables

⁴⁶ GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

⁴⁷ Ibíd., p 7.

de 80% de la demanda) se presentan en la imagen 12⁴⁸, para esquemas Flying-V y Fishbone. En general, como se esperaba, ya que el perfil de demanda del artículo se asemeja más al azar almacenamiento, los nuevos diseños realizar el mejor. Sin embargo, Incluso con la curva relativamente pronunciada de 20/80, un diseño Fishbone puede lograr más de un 10% de mejora sobre un diseño tradicional para la mayoría de los tamaños de las instalaciones.

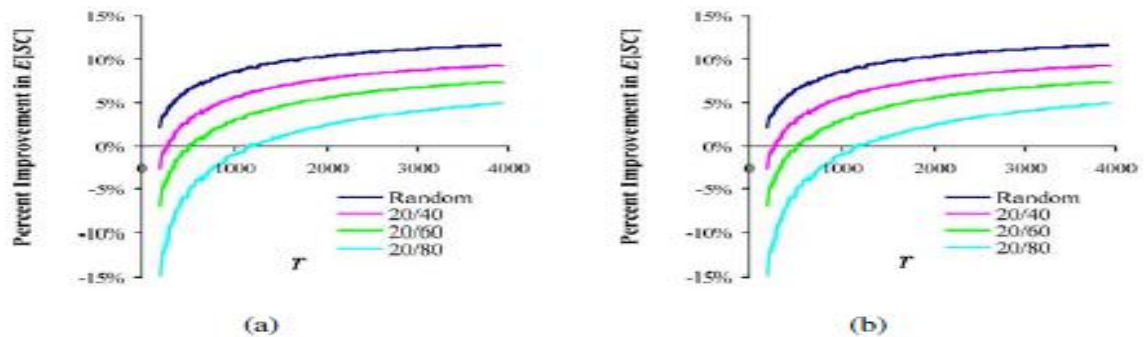


Imagen 13. (A) Comparación de almacenamiento dedicado para diseño Flying-V ; (B) Comparación de almacenamiento dedicado para diseño Fishbone.

⁴⁸ GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

4. DESARROLLO METODOLÓGICO

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el centro de distribución de una empresa fabricante y distribuidora de productos de línea blanca de Yumbo, encargado de las entregas de pedidos a los hogares realizados a través de la página web de la empresa y de las páginas web de varios de sus clientes de grandes superficies. El cliente del hogar le hace el pedido a un almacén de éstos y la empresa hace directamente la entrega al cliente final. Éste CEDI funciona también como almacenamiento temporal de algunos productos para clientes mayoristas y almacenes de cadena, aunque en su gran mayoría estas entregas son despachadas directamente a los clientes desde la planta principal en Medellín, Ésta planta cuenta con un complejo industrial de más de 211 mil metros cuadrados, donde se encuentran las plantas de refrigeración y calefacción, las cuales están certificadas internacionalmente a través de la norma ISO 14001 de Gestión Ambiental, ISO 9001 de Calidad y OHSAS 18001 de Salud y Seguridad.

La empresa Produce y comercializa productos de línea blanca como: Neveras, estufas, horno microondas, calentadores para agua, aire acondicionado, lavadoras, secadoras y otros electrodomésticos menores como cafeteras y sanducheras. Este CEDI es administrado por un tercero, la cual es una empresa prestadora de servicios logísticos de Medellín con sedes en Bogotá y Cali, sobresaliendo principalmente como empresa transportadora. El convenio que tiene incluye la administración del CEDI, el manejo de los sistemas de información de pedidos, la recepción de productos desde la planta en Medellín, el alistamiento de pedidos, el despacho y entrega de pedidos a hogares en el valle y el cauca, además coordinar la logística inversa, en el caso de reclamos o pedidos mal entregados.

El CEDI cuenta con la presencia de un coordinador de la empresa fabricante y distribuidora directamente y un supervisor de la empresa que administra el CEDI , entre estas dos personas junto con todo el grupo de apoyo de INBOCAR se coordinan las labores diarias.

El CEDI maneja en su mayoría una unidad de carga para los ingresos y para los despachos, con la diferencia que en los despachos solo de transporta un producto desde la zona de almacenamiento hasta el punto de despacho, pero la recepción de mercancías se realiza en pallets de hasta 4 unidades, 8 unidades o 32 unidades dependiendo de la referencia.

La rotación en términos globales de este CEDI es de 17 a 18 días máximo; esto permite reaccionar ante situaciones de paros y retrasos en producción, sin embargo, la compañía por conveniencia económica está intentando reducir esta rotación de 10 a 12 días para algunos productos, debido a factores como el costo por estiba y ocupación de área.

La capacidad de bodega es en superficie de 1800 m² en almacenamiento y actualmente se tienen 1100 posiciones de estibas. No hay una perfecta ubicación de las estanterías, ya que inicialmente el centro de distribución no fue diseñado para la operación de esta empresa, sino para otro tipo de producto y almacenamiento.

La empresa ha realizado cotizaciones para una redistribución de estantería y para la instalación de nuevas estanterías, por ejemplo, Carvajal hizo el estudio de estanterías para determinar cuántas, cuáles y como ubicarlas, pero sus costos son bastante elevados y la empresa no tiene un estudio financiero que valide el beneficio en términos económicos y el retorno de esta inversión, por lo tanto, no aún no se ha tomado ninguna decisión en este sentido.

Este CEDI actualmente tiene varias alturas por el tipo de tejado, su parte más alta es de 9 m y su parte más baja es de 6 m. Con las estanterías que se tiene actualmente no se aprovecha al máximo la altura del CEDI. Sin embargo, el tamaño y capacidad del centro soporta la rotación manejada actualmente.

Las operaciones de este CEDI están diseñadas para el modelo de negocio de entrega a domicilio, donde se atiende los pedidos de los usuarios que han comprado a su vez en supermercados y tiendas a mayoristas, como por ejemplo Cencosur o éxito. Los procesos no están diseñados para atender productos masivos u otra línea de negocio, por ejemplo, Olímpica o Metro donde necesitaría un área mucho más grande para almacenar y despachar sus pedidos, este aspecto implicaría ocuparse de la carga de diez mulas por día. Por esto los productos a estos clientes llegan directamente desde Medellín hacia la bodega de los clientes. Para el modelo actual se tiene una buena operación, salvo cuando llegan algunas de estas mulas al CEDI por problemas de recepción o adelanto de envío para evacuar la bodega de Medellín, esto afecta la capacidad del centro y a veces congestiona el CEDI.

En Medellín hay bodegas de diferentes niveles y se tiene en promedio de 15000 metros cuadrados de producto terminado. Allí se manejan pallets de manera similar, a Yumbo, en donde hay 4 productos por estiba para las neveras y 8 productos por estiba, para las lavadoras y estufas. pero al momento de ser cargadas y despachadas no se incluye la estiba solo el producto. En Medellín se utiliza un WMS (Warehouse Management System), o un sistema de administración de almacenes a través de la plataforma SAP. La implementación de este WMS en el CEDI Yumbo se piensa realizar para evitar el error humano: a pesar de tener tres filtros (el alistamiento inicial, un primer conteo en bodega y el segundo por parte del conductor) hay ocasiones en que el producto puede ser trocado por colores o referencias equivocadas.

El año pasado se dio el cambio del ERP (Enterprise Resource Planning) de marca SAP, para todos los CEDIs y planta principal de Medellín, pero la adecuación de un WMS en Yumbo, requiere de más tiempo y dinero. Aunque ya empezaron su implementación estas se van empezando por CEDIS regionales hasta tenerlo en todas las bodegas. Seguidamente se da un orden de prioridades y seguramente no todas bodegas apliquen, como por ejemplo Pereira, Villavicencio e Ibagué con una capacidad de 200 m² y 300 m² respectivamente, además con muy poco movimiento. En el CEDI de Yumbo antes se abrían las cuatro puertas existentes y en la parte de la bodega se hacía un pre-alistamiento por cada vehículo, pero por temas de control y de seguridad interna se decidió dejar abierta una sola puerta. En términos de tiempos del modelo anterior y el actual, el ahorro no es significativo pero la relación de seguridad y error humano sobrepasa la económica. Este modelo funciona debido al espacio manejado; de cara al cliente se piensa en formas de optimizar la carga y evitar lesiones del producto.

La medición del inventario se basa en la efectividad de unidades o referencias y en cantidades. Estas medidas y la revisión de documentos y procesos llevaron a que desde hace un año y medio se tiene el 99% de efectividad tanto en referencias como en unidades (inventario). Antes la toma física del inventario incurría en 2 horas y el registro en sistemas otras 2 horas, haciendo un total de cuatro horas en inventario. con SAP solo necesitan macros informáticas, el conteo se hace por pasillos, una persona por pasillo y si hay diferencia se realiza un recuento, eso es el inventario aleatorio diario. Ya de manera mensual hace un inventario general con una mesa de control, entre la empresa que administra el CEDI y la empresa fabricante de los productos de línea blanca. Se realiza un conteo de adelante para atrás y viceversa poder ingresar al sistema, pero, aun así, esto no lleva más de cuatro horas.

4.1.1. Proceso de operación despacho del CEDI (proceso de salida)

Los procesos de preparación de pedidos, comprobación, embalaje y envío de mercancías en el CEDI inicia a las 5:00 am llega la persona encargada de descargar los pedidos de SAP y los consolida por zonas según las direcciones y barrios. luego el auxiliar de transporte consigue el transporte según los pedidos consolidados, generalmente cuentan con 7 vehículos propios y 3 externos.

En este punto se entrega este listado temporal al montacarguista, el cual baja de las estanterías los productos solicitados, solo los baja desde las diferentes posiciones y los deja en el piso junto a la estantería donde estaba posicionado. Esto es porque solo hay un montacargas y el alistamiento de pedidos ya lo hacen los operarios con transpaletas manuales cuando se genere el listado final de carga.

Después que los pedidos están consolidados, un auxiliar de telemercadeo se encarga de llamar a los clientes para confirmar que pueden recibir el producto según la hora aproximada de entrega, si no se logra concretar con el cliente los pedidos son aplazados para el siguiente día y no son incluidos en la lista final de carga. Estos deben tenerse en cuenta para entrega al siguiente día en la lista de carga. Hay otros pedidos que llegan directamente desde Medellín ya facturados, a estos se les llama redistribuciones y deben incluirse también en el listado final de carga según la zona. Cuando se genera este listado final es entregado a los conductores según las zonas asignadas. Los conductores según su experiencia organizan la ruta que a cada uno le parezca más corta o más conveniente para realizar las entregas en el menor tiempo posible.

Los clientes de grandes superficies esta empresa tienen diferentes horarios para realizar los cortes de pedidos, incluso hay clientes que tienen hasta 3 cortes en el día, uno de sus clientes principales realiza su último corte a media noche, por este motivo no se puede consolidar o alistar pedidos un día antes. Los despachos se

realizan hasta las 9:00 am aproximadamente, generalmente las rutas se consolidan mínimo con 15 productos por camión. INBOCAR cuenta con 4 supervisores de despacho, los cuales coordinan el despacho de cada camión, entre sus labores están: verificar el listado de envío, solicitar a los operarios de las transpaletas la traída de producto por producto, ayudar en la verificación del estado de la mercancía antes de ser despachada, contar las unidades despachadas, verificar que solo el listado de pedidos es el que se carga, nada más ni nada menos, garantizar el tiempo adecuado de cargue, entre otras funciones administrativas.

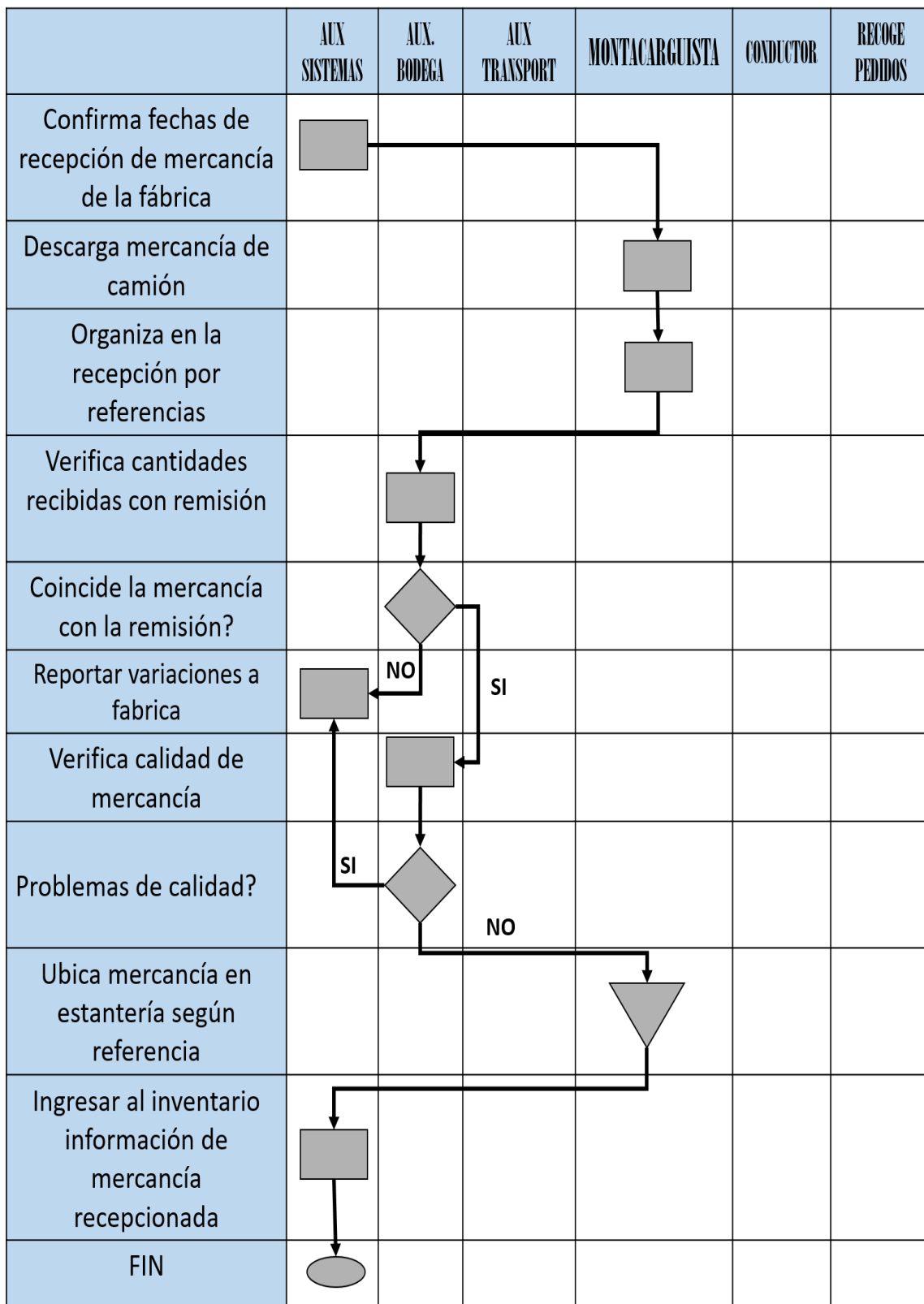
Se cuenta con máximo 4 recogedores de pedido y se tiene un promedio de carga por camión de 30 minutos. Para recoger las neveras y lavadoras se da la descripción del producto (lavadora de 220,120, etc.), para otros productos como cafetera, estufas se hace por medio del código que éste posee, debido a la amplia gama de referencias. El CEDI además del uso de SAP, utiliza un programa llamado “Entrega domicilios” (programa desarrollado por la empresa fabricante de productos de línea blanca) el cual le permite saber el inventario entre el fabricante y las grandes cadenas. En los despachos tienen prioridad las rutas para clientes masivos (grandes volúmenes) o redistribuciones, luego se despacharán las rutas viajeras (pedidos que van fuera de Cali). El resumen de este proceso de despacho se puede observar en el diagrama de flujo de la imagen 14.

El CEDI maneja algunos indicadores para la medición de la productividad y el manejo de incentivos, algunos indicadores son: nivel de efectividad, devoluciones, efectividad de los vehículos, tiempos de recibo de mercancía.

4.1.2. Proceso de descargue de mercancía en el CEDI (proceso de entrada)

Los procesos de recepción y almacenamiento empiezan cuando la mercancía llega al CEDI de Yumbo que viene normalmente desde la planta de Medellín. Se reciben aproximadamente entre dos y tres tractomulas semanales y éstas son recibidas generalmente en la tarde cuando ya se realizaron los despachos del día y el inventario está actualizado y validado. Esta mercancía llega normalmente organizada de tal forma que se priorice el mayor volumen transportado desde Medellín, no se carga en orden o por referencias necesariamente. Por esta razón, descargar una tractomula puede ser demorado, debido a que se debe organizar la mercancía por referencia. El error humano es un factor que influye mucho en este proceso. Una vez acomodadas las unidades en las estibas por referencia en la zona de descargue, el montacarguista lleva las unidades de carga a las posiciones asignadas para cada referencia.

Otra actividad de recepción de mercancía es cuando llegan los camiones en la tarde después de realizar sus respectivas rutas, llegan al CEDI y descargan los productos que no se pudieron entregar por diferentes razones: porque el cliente no estaba a pesar de su confirmación, vías cerradas, el tiempo no alcanzó para terminar la ruta. Estos productos se descargan por los conductores y sus auxiliares y son dejados en una zona de almacenamiento temporal para ser tenidos en cuenta en el despacho del siguiente día. En la imagen 15 podemos observar el diagrama de flujo de este proceso de recepción de mercancía.



. **Imagen 15.** Diagrama de flujo de procesos de entrada de mercancía

4.1.3. Distribución actual del centro del CEDI.

Como se mencionó anteriormente la bodega según información del coordinador por parte de la empresa administradora del CEDI, tiene una superficie de 1800 m² aprox en almacenamiento y actualmente se tienen 1100 posiciones de estibas. Se realizaron varias visitas para tomar las medidas necesarias para levantar los planos de la distribución actual de la bodega, ya que la empresa no tiene ninguna información al respecto. La administradora del CEDI ha hecho algunos cambios en la localización de los productos en la bodega, en lo posible priorizando con una clasificación ABC, sin embargo, algunas restricciones de las estanterías actuales no permiten la organización de algunos productos.

Para la representación gráfica de la bodega y la geometría actual se utilizó el programa Sketchup 2015, éste es un programa de diseño gratuito que permite realizar modelaciones en 3D. Los planos en 2D se realizaron en Excel, el mismo fue utilizado para la simulación de los tiempos de transporte en el alistamiento de pedidos y en la recepción de mercancía.

Algunos elementos a tener en cuenta en esta distribución son que el CEDI solo contaba con 6 módulos de estanterías de profundidad sencilla de 3 niveles cada una. 3 de los módulos miden cada uno 15 m de largo y aproximadamente 8 m de altura, cada nivel tiene una altura de 2,5 m, lo que permite solo productos hasta de 2,2 m quitando la altura de la estiba. Estos 3 módulos permiten ubicar 60 posiciones de estibas en el primer nivel, en total permitiría ubicar 180 posiciones en los 3 niveles. Los otros 3 módulos tienen una longitud total de 21 m cada uno y las mismas condiciones de altura que los demás módulos. Permiten ubicar 84 posiciones de estibas en el primer nivel, para un total en los 3 niveles de 252 posiciones. En las estanterías entonces se podrían ubicar 432 posiciones de estibas de las 1008 posiciones que tiene actualmente. Estas 576 posiciones restantes se colocan en el

piso y se arruman a 3 niveles máximo. Cada nivel se carga y descarga con montacargas en estibas.

4.1.4. Calculo de tiempos de transporte al interior del CEDI para consolidar despachos

Con la realización del plano del CEDI, la localización de las estanterías y las diferentes posiciones, se planea el siguiente paso que es determinar los tiempos que se utilizan para consolidar los despachos antes de ser cargados. Para el cálculo de estos tiempos se tuvo acceso a las cantidades y las referencias despachadas en los meses de enero, febrero, marzo y abril. Con esta información se realizó todo el análisis de datos para la toma de decisiones en el desarrollo de esta investigación. Para poder calcular estos tiempos no se tuvo en cuenta el descargue de la mercancía desde los diferentes niveles, ya que estos tiempos serán iguales para cualquier geometría simulada, los tiempos calculados tienen en cuenta la distancia desde la posición del producto a la puerta donde se consolidan, se verifican y se cargan. Esta distancia recorrida será la misma en la ida por la mercancía tanto para su regreso, lo que si cambia según la toma de tiempos realizada es la velocidad estándar para la ida que es un poco menor que la velocidad de regreso con la carga unitaria. A pesar que las estibas contienen hasta 8 productos, cada recogedor solo trae un producto por viaje. Este recorrido se realiza en carretas metálicas como se muestra en la Imagen 16⁴⁹

⁴⁹ Fuente: <http://carretillatransporte.es/>



Imagen 16. Carretas Metálicas

Las distancias a cada posición fueron calculadas utilizando una distancia rectangular.

$$d_i = |x_i - x^*| + |y_i - y^*|$$

Donde,

d_i = Distancia rectangular recorrida desde una posición A (origen) a una posición B

x_i = Componente en X de las coordenadas de localización del origen

y_i = Componente en Y de las coordenadas de localización del origen

x^* = Componente en X de las coordenadas de localización del destino i

y^* = Componente en Y de las coordenadas de localización del destino i⁵⁰

⁵⁰ RAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. Administración de Operaciones: Procesos y cadenas de Valor. Octava Edición. Mexico 2008. 752 p.

El estudio de tiempos se calculó utilizando la ecuación propuesta por Niebel y Freivalds⁵¹

$$n = \left(\frac{t s}{k \bar{x}} \right)^2$$

Las velocidades de los operarios recolectores de pedidos se midieron con un Apple watch, el cual tiene una aplicación de medición de velocidad promedio normalmente usada para entrenamientos en bicicleta o en atletismo. Se tomaron inicialmente 23 datos de velocidad en la ida a las estanterías con la carreta vacía y 23 datos de velocidad con carga de regreso de las estanterías. Esta información permitió el cálculo del tamaño de muestra representativa para hallar las velocidades promedio de ida y regreso. (Tabla 2 y 3)

Tabla 2. Calculo tamaño de muestra ida

DESV EST	0,65
MEDIA	3,18
K	0,05
T	2,08
N	71

Tabla 3. Calculo tamaño de muestra regreso

DESV EST	0,64
MEDIA	3,24
K	0,05
T	2,08
N	68

Se recopiló la información según el tamaño de la muestra para cada tipo de trayecto, se valoró el ritmo con la ayuda del supervisor y llegó a la siguiente calificación según el método de Westinghouse,⁵² el cual es uno de los sistemas de calificación más

⁵¹ NIEBEL, Benjamín; FREIVALDS, Andris Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares Y Diseño Del Trabajo. 11ª ED. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR 2008. 745p

⁵² CASO NEIRA, Alfredo Técnicas De Medición Del Trabajo. 2 Edición. España. 2006. 235p

antiguos, pero con mayor aplicación, fue desarrollado por Westinghouse Electric Corporation, el método considera cuatro factores para evaluar el desempeño (tabla4)

Habilidad (nivel de competencia para seguir el método)

Esfuerzo (velocidad)

Condiciones (entorno)

Consistencia (Variabilidad en la operación)

Tabla 4. Medición del desempeño en despachos

VALORACIÓN RITMO	IDA	REGRESO
<i>HABILIDAD</i>	0,06	0,06
<i>ESFUERZO</i>	0	0,05
<i>CONDICIONES</i>	0,03	0
<i>CONSISTENCIA</i>	-0,03	0,02
<i>TOTAL</i>	0,06	0,13

Además de la valoración del ritmo se incluyeron 2 tipos de suplementos que son fatiga con un 4% y trabajar de pie con un 2%. Toda esta información se utilizó para el cálculo de las velocidades estándar de traslado a las estanterías y velocidad de recolección de productos. (Tabla 5 y 6)

Tabla 5. Velocidad estándar ida

<i>PROMEDIO</i>	2,98	Km/h
<i>RITMO</i>	0,06	
<i>VELOCIDAD NORMAL</i>	3,16	Km/h
<i>SUPLEMENTOS</i>	6%	%
VELOCIDAD ESTANDAR	3,35	Km/h
VELOCIDAD ESTANDAR	55,75	m/min

Tabla 6. Velocidad estándar regreso

<i>PROMEDIO</i>	3,14	Km/h
<i>RITMO</i>	0,13	
<i>VELOCIDAD NORMAL</i>	3,54	Km/h
<i>SUPLEMENTOS</i>	6%	%
VELOCIDAD ESTANDAR	3,76	Km/h
VELOCIDAD ESTANDAR	62,61	m/min

4.1.5. Herramienta de simulación en consolidación de pedidos distribución actual

Ahora utilizando Excel®, una vez calculadas las velocidades estándar y teniendo las distancias desde un punto de origen hasta cada una de las posiciones se pueden calcular los tiempos de alistamiento de pedidos. Esto con el fin de simular los pedidos realizados en los meses indicados según las referencias solicitadas. La simulación en Excel® se realiza de la siguiente manera: se toma la información de los pedidos por cada día, que referencias y que cantidades de cada referencia. El Excel® está formulado, lo único que debe hacerse es colocar la cantidad solicitada en la casilla de la posición solicitada y el programa activa la fórmula de distancia rectangular y calcula los tiempos de alistamiento utilizando también las velocidades estándar de ida y regreso calculadas anteriormente.

Los resúmenes de los tiempos de alistamiento de pedidos por día para los 4 meses simulados en la geometría actual se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Cálculo de distancias y tiempos de transporte en despacho de mercancía en geometría tradicional

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
1	14	452,3	15,3	79	2630,8	89,2	40	1303	44,2	62	2198,5	74,5
2	55	1852,5	62,8	54	1481	50,2	46	1289,5	43,7	93	2874	97,4
3	78	2956,3	100,2	90	2604,5	88,3	56	1522,5	51,6	88	2797	94,8
4	65	2143	72,7	76	2438,3	82,7	71	2110	71,5	64	2115,8	71,7
5	83	2897,3	98,2	60	2093,8	71	261	8521,3	288,9	84	3109,8	105,4
6	91	2735	92,7	71	2287	77,5	205	6440,3	218,4	80	2227,3	75,5
7	88	3188,5	108,1	82	2679	90,8	72	1879	63,7	23	646	21,9
8	91	3228,8	109,5	73	2368,5	80,3	59	1762,8	59,8	67	2070,8	70,2
9	77	2752	93,3	41	1365	46,3	57	1836,3	62,3	80	2309,5	78,3
10	118	4182,5	141,8	67	1947,5	66	81	2274,3	77,1	89	2908,5	98,6
11	103	3374	114,4	69	2595	88	70	2312,8	78,4	90	2437	82,6
12	82	2640	89,5	56	1736	58,9	70	1700	57,6	52	1597,5	54,2
13	90	3284,3	111,4	56	1773,3	60,1	44	1192,8	40,4	15	291,8	9,9
14	88	3324,5	112,7	94	2624,5	89	132	2329,5	79	11	361,3	12,2
15	108	3915	132,7	47	1567,3	53,1	61	1309,5	44,4	29	781,5	26,5
16	106	3510,5	119	94	2568,5	87,1	49	1577,5	53,5	47	1275	43,2
17	94	3253	110,3	72	2539	86,1	53	1385,5	47	59	1594,8	54,1
18	87	2810	95,3	147	4942,8	167,6	66	1879	63,7	49	1393,5	47,2
19	75	2657,5	90,1	119	4380,3	148,5	58	1983,3	67,2	28	887	30,1
20	64	2128	72,2	93	3334,5	113,1	85	2356	79,9	54	1527,8	51,8
21	83	3064,3	103,9	68	2194,3	74,4	90	2523,5	85,6	71	2192,3	74,3
22	104	3730	126,5	53	1584	53,7	60	1511,3	51,2	67	2389,5	81
23	107	3654	123,9	104	2764,5	93,7	64	1681,8	57	56	1675,8	56,8
24	121	3752,8	127,2	40	1182,3	40,1	20	612,3	20,8	68	1580,5	53,6
25	62	2072,8	70,3	55	1870,8	63,4	53	1737	58,9	67	1722,5	58,4
26	46	1913,3	64,9	51	1712	58	73	2104,8	71,4	40	1109,5	37,6
27	45	1492,3	50,6	61	1914,3	64,9	62	1876,5	63,6	30	892	30,2
28	140	5829	197,6	74	2177	73,8	75	2262,3	76,7	55	1588	53,8
29	72	2179,3	73,9		0		54	1629	55,2	91	2514	85,2
30	77	2416,5	81,9		0		49	1351	45,8	54	1564,3	53
31	104	2862,8	97,1		0		69	2196,8	74,5			
SUMATORIA	2618	90252,1	3060	2046	65355,8	2215,8	2305	66451,2	2253	1763	52632,8	1784
PROMEDIO	84,45	2911,36	98,71	73,07	2334,14	79,14	74,35	2143,59	72,68	58,77	1754,43	59,47

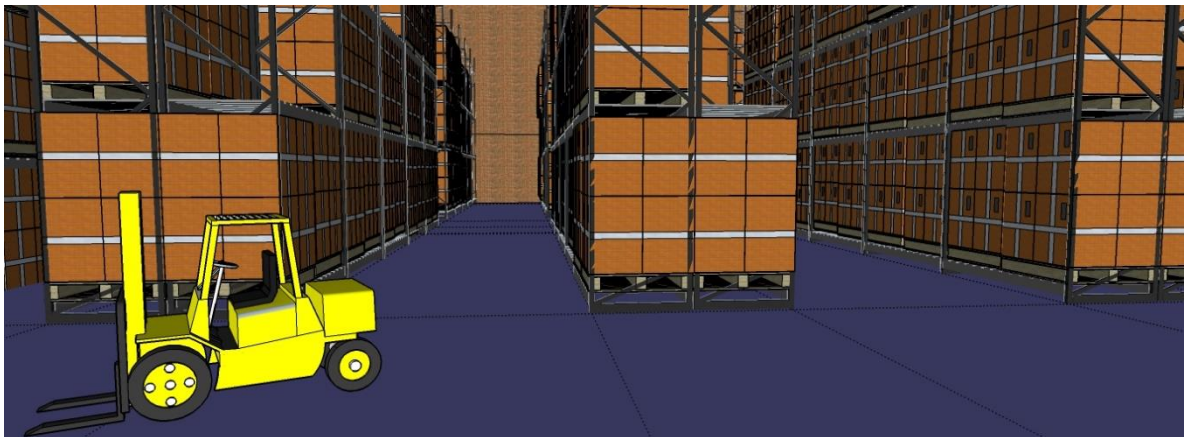


Imagen 18 Representación en Sketchup de la geometría de pasillos actual

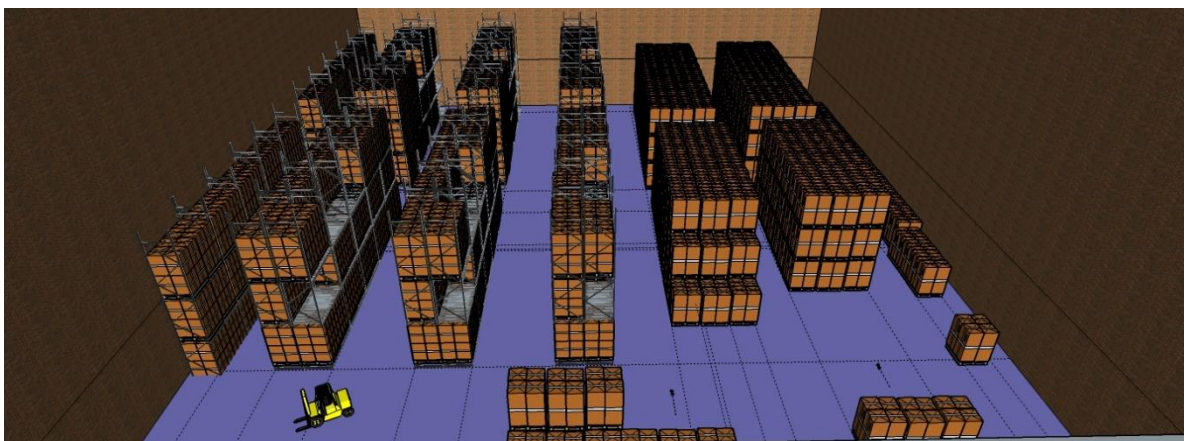


Imagen 19. Representación en Sketchup de la geometría de pasillos actual

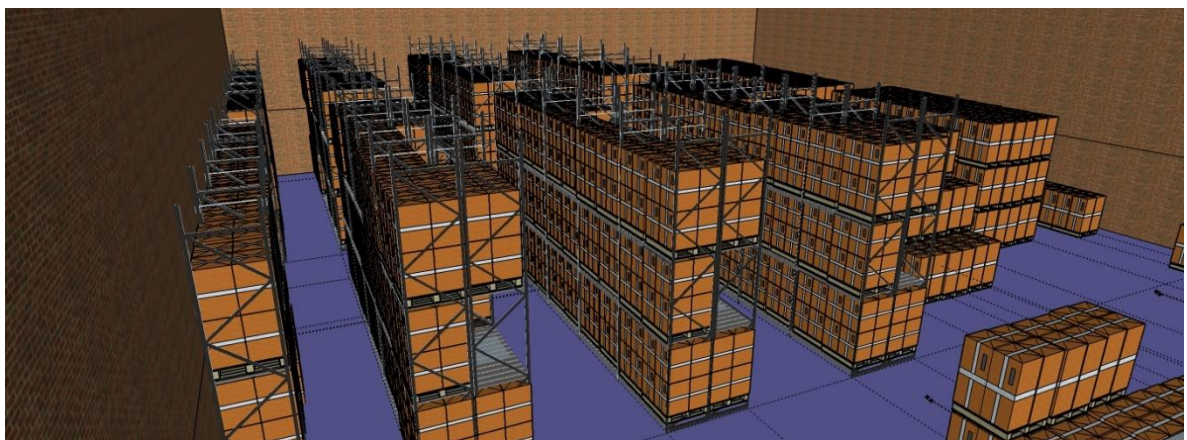


Imagen 20. Representación en Sketchup de la geometría de pasillos actual

Esta simulación nos arroja que en el mes de enero en promedio se trasladaron 84 unidades de carga diarias, se recorrieron diario 5851 metros en promedio y se demoraron en alistar la mercancía a despachar del día 98,71 min promedio diario. En el mes de febrero se movieron 98 cargas unitarias en promedio diario, se recorrieron 4668 metros en promedio diario y se utilizó un tiempo promedio de 79 min diarios. En el mes de marzo se movieron en promedio 74 unidades de carga diaria con una distancia de 2287 en promedio y se utilizaron 73 min por día en promedio para este alistamiento y finalmente el mes de abril movió diario 59 unidades de carga en promedio recorriéndose 3508 m en promedio y utilizando en promedio 59 min diarios. La información diaria de movimiento de distancias y tiempos de pedidos se comparará con los mismos pedidos, pero simulados en la geometría no tradicional seleccionada. Se espera que esta comparación genere una reducción en los tiempos de alistamiento de pedidos.

Como se mencionó anteriormente en la descripción de los procesos actuales, algunos días de la semana llega mercancía desde la planta en Medellín para abastecer el almacén. Esta mercancía es recibida por el montacargas, verificada y posteriormente llevada por el montacargas a la posición que corresponde de cada referencia. En este punto vemos varias diferencias significativas con el alistamiento de pedidos. En la recepción la mercancía se traslada en estibas de 4 u 8 unidades cada traslado según la referencia, en el alistamiento de pedidos se realiza el traslado de una sola unidad, en la recepción el traslado se realiza en montacargas, por lo cual tendrán velocidades diferentes a las velocidades de alistamiento que son realizadas por los operarios en las carretillas antes mencionadas. Así que el paso siguiente será simular las recepciones entregadas en la bodega entre los meses de enero y abril, con esto calcular las distancias recorridas y los tiempos utilizados en la ubicación de las referencias en las posiciones de las estanterías y arrumes. Esta información sumada a los tiempos de alistamiento por día, debe dar como resultado los tiempos totales de transporte de referencias en la geometría actual, la cual se compara luego con los tiempos totales de transporte, pero simulados en la

geometría no tradicional propuesta. Se realizó en la versión gratuita de Sketchup, un programa de diseño, la representación gráfica de la geometría actual, para mayor acercamiento a la realidad de la geometría actual del CEDI.

4.1.6. Cálculo de tiempos de transporte al interior del CEDI para recepción de mercancía.

Ahora, para el cálculo de los tiempos de aprovisionamiento en las estanterías se tuvo en cuenta la información de entradas al centro en los meses de enero, febrero, marzo y abril. Como se explicó anteriormente en la descripción actual de la empresa, la mercancía llega en tractomulas, esta es verificada y dispuesta en las estanterías según asignación previa. Es importante aclarar que no se tendrá en cuenta el tiempo de descarga del camión ni el tiempo en la verificación ya que estos tiempos son iguales en cualquier geometría y no representarán una diferencia entre una u otra. Otro elemento importante a tener en cuenta es que el aprovisionamiento lo hace la montacarga en estibas de varios productos según la referencia como aparece en la siguiente tabla:

Tabla 8. Productos por estiba

PRODUCTO	N° DE PRODUCTOS/ESTIBA
LAVADORAS Y COCINAS	8
NEVERAS	4
CUBIERTAS	36
HORNOS	8
AIRES ACONDICIONADOS	7
NEVECONES	1
CALENTADORES	18
HORNOS MICROONDAS	30
CAMPANAS	40
ELECTROMENORES	144

La distancia recorrida será la misma en la ida a ubicar la mercancía en las estanterías como para su regreso con la monta carga vacía. También la velocidad estándar para la ida con carga que es un poco mayor que la velocidad de regreso sin carga. La montacarga⁵³ que se usa para este aprovisionamiento tiene una capacidad de 4,000 libras / 1,816 el motor es eléctrico y la marca es Yale referencia EV100. En la siguiente figura se observa una imagen del tipo de montacarga que se usa:



Imagen 21. Montacargas

Las distancias a cada posición fueron calculadas utilizando una distancia rectangular según formula ya establecida anteriormente y el estudio de tiempos de cálculo utilizando una muestra piloto de 15 mediciones de velocidad promedio de la montacargas en cada uno de los recorridos, tanto para aprovisionamiento en las estanterías, como el regreso a cargar la mercancía. Con esta prueba piloto se calculó el tamaño de muestra según ecuación vista anteriormente.

⁵³ <http://coemsa.mx/hombreparado.html>

Las velocidades de la montacarga fue medida igualmente con un Apple Watch. No se utilizó el velocímetro de la montacarga, porque esta no saca la velocidad promedio del trayecto, lo que si hace la aplicación del Apple Watch.

Tabla 9. Cálculo tamaño de muestra ida montacargas

DESV EST	0,28
MEDIA	5,49
K	0,05
t	2,08
n	4

Tabla 10. Cálculo tamaño de muestra regreso montacargas

DESV EST	0,36
MEDIA	6,85
K	0,05
t	2,08
n	5

Como observamos, las velocidades promedio tanto para la ida como para el regreso no tienen una variación significativa, por esta razón el tamaño de la muestra calculado dio inferior a la muestra piloto tomada inicialmente, así que con estos 15 datos de ida y 15 de regreso procedemos a calcular el tiempo estándar. Se valoró el ritmo con la ayuda del supervisor y llego a la siguiente calificación según el método de Westinghouse.

Tabla 11. Medición del desempeño en recepción de mercancía

VALORACIÓN RITMO	IDA	REGRESO
HABILIDAD	0,11	0,06
ESFUERZO	0,08	0,08
CONDICIONES	0,06	0,06
CONSISTENCIA	0,02	0,02
TOTAL	0,27	0,22

Además de la valoración del ritmo se incluyó un suplemento que es fatiga con un 4%. Toda esta información se utilizó para el cálculo de las velocidades estándar de

aprovisionamiento a las estanterías y velocidad de regreso a cargue de productos. En términos generales podemos decir que la velocidad de aprovisionamiento es casi un 14% menor que la velocidad de regreso a cargar. Esto es claro de entender ya que la montacarga cargada requiere un poco de más cuidado en el traslado para evitar dejar caer o golpear la mercancía.

Tabla 12. Velocidad estándar ida de montacargas

PROMEDIO	5,49	Km/h
RITMO	0,27	
VELOCIDAD NORMAL	6,97	Km/h
SUPLEMENTOS	4%	%
VELOCIDAD ESTANDAR	7,24	Km/h
VELOCIDAD ESTANDAR	120,74	m/min

Tabla 13. Velocidad estándar regreso de montacargas

PROMEDIO	6,85	Km/h
RITMO	0,22	
VELOCIDAD NORMAL	8,35	Km/h
SUPLEMENTOS	4%	%
VELOCIDAD ESTANDAR	8,68	Km/h
VELOCIDAD ESTANDAR	144,75	m/min

4.6 Herramienta de simulación en recepción de mercancía en la distribución actual.

Ahora utilizando Excel®, de la misma forma que se simuló el alistamiento de pedidos, ahora se simula el aprovisionamiento de pedidos a las estanterías para los meses de enero, febrero, marzo y abril teniendo en cuenta el número de unidades por cada estiba según la referencia a ubicar en la estantería. Es decir, se tendrá en cuenta traslado por unidad de carga, que en este caso es una estiba. La información de la simulación la podemos encontrar en el siguiente cuadro:

Tabla 14. Cálculo de distancias y tiempos de transporte con recepción de mercancía en geometría tradicional

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
1				5	142,3	2,2	33	1045,8	15,9	35	1242	18,9
2	14	449	6,8	14	439	6,7	46	1721,8	26,2			
3	10	272,5	4,1	21	760,3	11,5	52	2058,3	31,3	55	1864	28,3
4	69	2589,5	39,3	24	925,5	14,1	32	1143,8	17,4	51	1763,5	26,8
5	28	1009,8	15,3							59	2038	31
6	16	490	7,4	12	344	5,2	59	2153,3	32,7	59	2039,3	31
7	9	259,8	3,9	21	871,5	13,2	55	1841,5	28	54	1874,3	28,5
8				40	1672,3	25,4	43	1733	26,3	23	798	12,1
9				23	813,3	12,4	33	1411	21,4			
10	63	2208,3	33,5	19	641,3	9,7	39	1664	25,3	62	2249,3	34,2
11	42	1496,8	22,7	11	329,8	5	53	1634,3	24,8	57	2115,3	32,1
12	15	750	11,4							52	1877,3	28,5
13	13	541,5	8,2	24	983	14,9	55	1881	28,6			
14	16	559	8,5	42	1396,5	21,2	48	1619,8	24,6			
15				10	309	4,7	44	1451,8	22,1			
16	8	334,5	5,1	67	2488,3	37,8	35	1262,5	19,2			
17	37	1442,8	21,9	7	201,3	3,1	36	1288,8	19,6	46	1809,8	27,5
18	20	730,5	11,1	9	292,3	4,4	39	1394,8	21,2	35	1475	22,4
19	27	989,3	15							45	1514,3	23
20	17	601,5	9,1	3	105,8	1,6				61	2419,5	36,8
21	17	471,8	7,2	9	368,3	5,6	54	2038,8	31	34	1138	17,3
22							31	1144	17,4	25	840,5	12,8
23	50	1688,3	25,6	20	616,5	9,4	55	1946	29,6			
24	36	1441	21,9	24	831	12,6	23	878,5	13,3	65	2339	35,5
25	26	944,5	14,3	13	409,8	6,2	39	1445	22	60	1979,5	30,1
26	13	526	8							34	1158,5	17,6
27	45	1500,5	22,8	4	101	1,5	71	2588	39,3	31	992,8	15,1
28	19	675,3	10,3	17	492,3	7,5	48	1713,8	26	47	1648,3	25
29							53	1780,3	27	61	1979,3	30,1
30	10	346,8	5,3				61	2551	38,8			
31	33	1074,3	16,3				65	2257,3	34,3			
SUMARIA	653	23393,3	355	439	15534,4	235,9	1202	43648,2	663,3	1051	37155,5	564,6
PROMEDIO	26,12	935,73	14,20	19,09	675,41	10,26	46,23	1678,78	25,51	47,77	1688,89	25,66

4.2. GEOMETRÍA NO TRADICIONAL SELECCIONADA.

En la revisión bibliográfica y en el marco teórico se observó y estudió 5 geometrías no tradicionales con algunas de sus ventajas y desventajas en comparación con las geometrías tradicionales y en comparación a ellas mismas. De lo cual se concluye que las geometrías que generan una mayor reducción en tiempos de recorrido son

Fishbone y Chevron, ambas geometrías con reducciones cercanas a los 20%, esto según Güe y Meller⁵⁴, dependiendo del número de pasillos, de la longitud del pasillo, del tipo de almacenamiento, si es dedicado o no y claramente dependiendo de si son cargas unitarias o no. Aunque las geometrías The Butterfly y The Leaf también prometen mejoras cercanas al 20%, pero se requiere un número de pasillos alto, por ejemplo, según los gráficos de Güe y Meller para lograr superar el 18% la geometría the Butterfly y Chevron, requiere de más de 38 pasillos y The Leaf para lograr el mismo desempeño requiere de más de 33 pasillos, mientras que las geometrías Fishbone supera el 18% de mejora al superar los 15 pasillos para una longitud de pasillos de 50 m y la misma mejora para más de 20 pasillos de longitud 75 m. La geometría Flying – V no demuestra mejoras superiores al 12% para ninguna circunstancia. Ahora, una de las desventajas de las geometrías no tradicionales es la reducción de la capacidad de almacenamiento, según Güe y Meller⁵⁵ la reducción de área de almacenamiento es de hasta el 25% para Butterfly, hasta del 16,7% para the Leaf, para Chevron hasta el 10,8% y para Fishbon según Dukic & Opetuk, el pasillo transversal en forma de V causa cierta pérdida de área de almacenamiento. En las situaciones examinadas, el área requerida para el diseño de Fishbone era 16% más alta que para diseño tradicional básico, y 8% más alto que el diseño tradicional con pasillo central.

Entonces, según estas referencias bibliográficas y según las condiciones actuales de la bodega, en términos de tamaño, geometría y necesidades de almacenamiento consideramos que la más adecuada es la geometría Chevron. Evidentemente la mejor geometría es Fishbone, tanto por la reducción significativa de tiempos de recorrido para bodegas de pocos pasillos como por la poca reducción de capacidad de almacenamiento en relación a las demás geometrías, por esta razón la mayoría

⁵⁴ GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKOĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: IIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

⁵⁵ Ibíd. P 465

de antecedentes bibliográficos apuntan a la aplicación de esta geometría, pero la forma actual de la bodega, muy similar a un cuadrado no permita la aplicación exacta de la geometría Fishbone, ya que los pasillos diagonales no llegarían a las esquinas del fondo de la bodega, por lo que se tendría que adaptar esta geometría pudiendo afectar el efecto de mejora de esta, así que, dado que Güe y Meller concluyen que las reducciones en la distancia de viaje de Chevron están muy cerca de las reducciones del Diseño Fishbond. Esto se puede explicar observando que los viajes en el diseño Fishbond es a lo largo de la diagonal, a continuación, horizontal o vertical a la ubicación, mientras que el viaje en una Chevron es Vertical u horizontal, a lo largo de un pasillo diagonal de picking a la ubicación. En este sentido, los pasillos Chevron son una especie de "Dual" a los pasillos de Fishbone. Además, Ellos también concluyen según sus estudios con varias geometrías que Chevron es el mejor diseño para almacenes de tamaño realista.

También se quiere resaltar que la empresa a cargo del almacenamiento y distribución de los productos no desea perder demasiado espacio de almacenamiento por la expectativa de crecimiento anual, aunque todas las posiciones están asignadas, la capacidad actual del CEDI esta alrededor del 65%. Por esta razón Chevron se convierte en la mejor alternativa en términos de menor reducción de capacidad de almacenamiento.

4.2.1. Adaptación del área actual del CEDI a la geometría no tradicional seleccionada

Para la adaptación y diseño de la nueva geometría al centro de distribución, se tuvieron en cuenta los criterios originales de la geometría Chevron según Güe y Meller.⁵⁶ Es decir, un pasillo vertical central y pasillos diagonales a 45°. Se tuvo en

⁵⁶ GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKOĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: IIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475

cuenta en la adaptación el ancho de pasillos de 4 metros presente en la geometría actual para los pasillos diagonales de la nueva geometría y para el pasillo vertical central. En la adaptación se utilizan las mismas estanterías de profundidad sencilla de 3 metros de ancho aproximadamente y donde no hay estanterías se conserva el mismo ancho de posiciones en arrume. La adaptación se realiza como se muestra en la Imagen 22 y en las imágenes 23,24 y25 dejando el mismo espacio para alistamiento de pedidos asignado en la geometría actual. Después de la adaptación

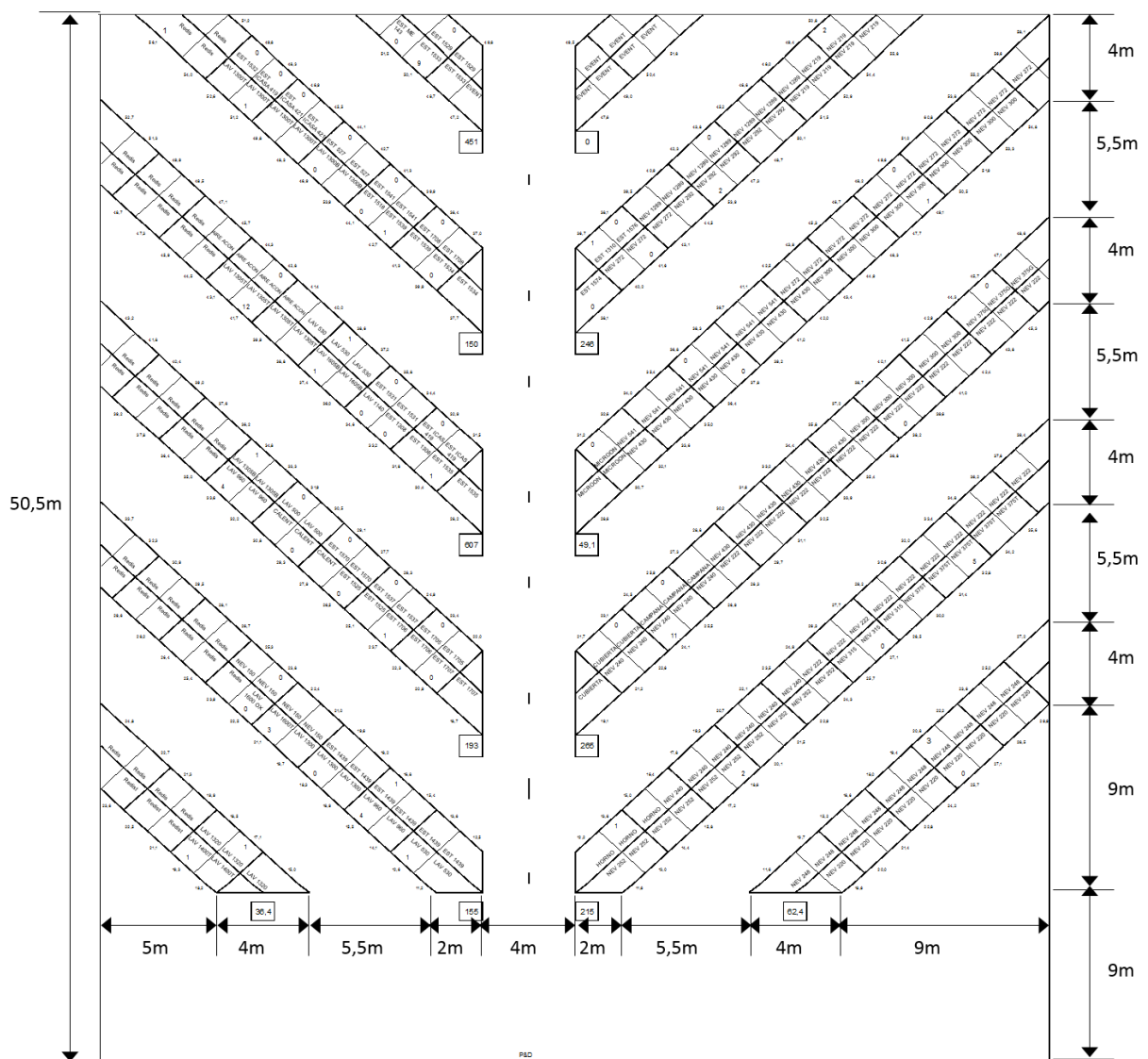


Imagen 22. Geometría Chevron propuesta en CEDI

se logró corroborar la reducción de la capacidad del almacén, generando una reducción en la cantidad de posiciones de estibas de 1008 posiciones a 909 posiciones. Una reducción del 9,82%.

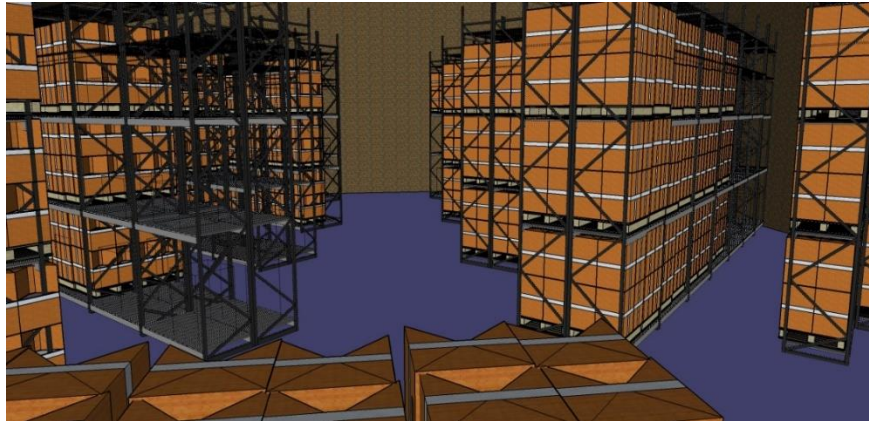


Imagen 23. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI

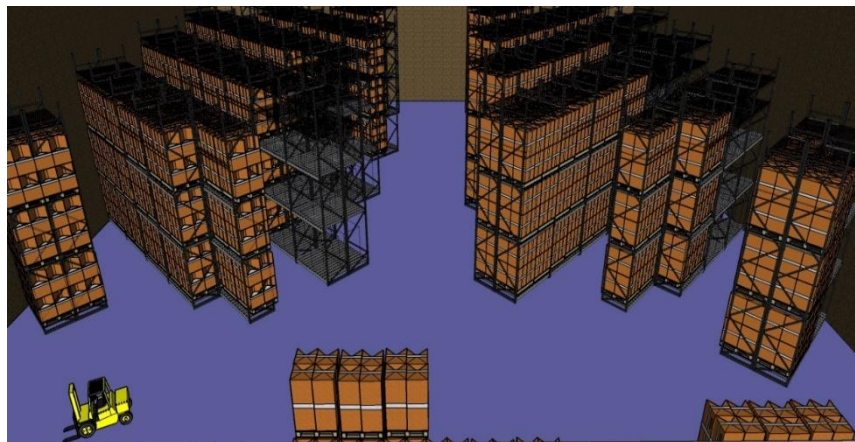


Imagen 24. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI

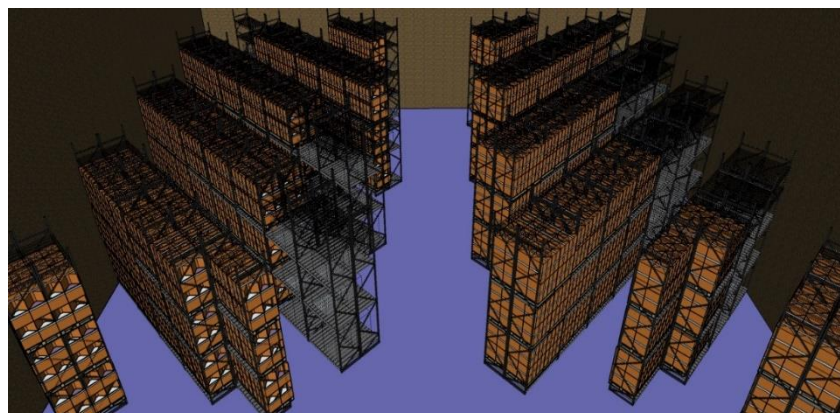


Imagen 25. Simulación de Geometría Chevron propuesta en CEDI

Teniendo en cuenta la pérdida de capacidad de la geometría Chevron, se debe decidir que posiciones deberían eliminarse o que referencias deberían disminuir sus posiciones en estantería asignada, para lo cual se realizó una clasificación abc de las 163 referencias manejadas en el periodo de evaluación. (ver tabla 15). Con la ayuda del líder de la empresa fabricante en el CEDI Yumbo se seleccionaron algunas referencias tipo C hasta reducir 9,82% de la capacidad actual para lograr realizar la adaptación de la mejor forma. Las cantidades a reducir eran sugeridas por el líder, en su mayoría se redujo el 50% de las posiciones de las referencias seleccionadas. También se tuvieron en cuenta para la reducción algunas posiciones asignadas a material para eventos (inventario, papelería, stand) y otras estanterías asignadas para los productos que ya vienen facturados desde Medellín y lo único que realiza el CEDI es redistribuirlos. En la mayoría de las ocasiones esta mercancía queda en la zona de despacho, pero cuando hay congestión se hace uso de algunas estanterías.

Las referencias que disminuyeron el número de posiciones fueron:

Tabla 15. Reducción de posiciones según referencia

REFERENCIA	POSICIONES GEOMETRÍA TRADICIONAL	POSICIONES GEOMETRÍA NO TRADICIONAL	POSICIONES REDUCIDAS
NEV ARF 315L CE 2P DA TI	30	9	21
NEV 375L SE 2P DA GOLD	18	9	9
LAV SEC F1140 TI	9	6	3
NEV AAAAAAAAAAAAAAAAAA SBS541L SE 2P T	42	21	21
REDISTRIBUCIÓN	144	120	24
EVENTOS	33	15	18
TOTAL			101

Una vez adaptada la geometría Chevron al espacio disponible del CEDI el paso siguiente es ubicar las diferentes referencias en las estanterías conservando el número de posiciones por referencia, reduciendo solo las referencias C seleccionadas en el proceso anterior. El gran logro en esta etapa y posicionarlas de tal manera que coincida de la mejor manera con la ubicación geográfica (coordenadas espaciales sin tener en cuenta los recorridos según la geometría) de la distribución original; Esto con el propósito de garantizar que la reducción esperada en los tiempos recorridos de alistamiento y aprovisionamiento de mercancía se deben al cambio en la geometría y no a una redistribución espacial de las referencias, es decir una reclasificación por rotación. Sin embargo, en la adaptación a la nueva geometría es imposible que todas las posiciones queden en el mismo lugar geográfico. Esto porque cuando se superpone una geometría con la otra, inevitablemente algunas referencias que están en la geometría actual van a coincidir con los pasillos de la geometría no tradicional, por esta razón el criterio de colocación fue acercar esta referencia a la estantería más cercada a la original. Así que la metodología de colocación de referencias en la nueva geometría tuvo 2 criterios fundamentales: cercanía a la posición geográfica original y distribución funcional, es decir, se espera que una referencia que tenga varias posiciones asignadas en las estanterías, lo más funcional es que queden contiguas todas las posiciones y sobre todo en el mismo lado de la estantería. A veces ocurría que para ser coherente con la posición geográfica original se debía colocar unas posiciones a un lado de la estantería y otras al lado de atrás de la estantería. Si esto se realizara de esta forma es probable se pudieran tener problemas en el control del inventario y un aumento en recorridos en la verificación de inventarios periódicos o en el aprovisionamiento de mercancías a las estanterías.

4.3. SIMULACIÓN DE DESPACHOS Y RECEPCIONES DE MERCANCÍA EN LA GEOMETRÍA CHEVRON

4.3.1. Herramienta de simulación en consolidación de pedidos con adaptación de geometría Chevron

Cuando se menciona que es una simulación, se refiere que a los pedidos y recepciones reales de mercancía ocurridos en los periodos enero, febrero, marzo y abril, se le calcularan las distancias recorridas y los tiempos utilizados basados en datos actuales de posiciones y velocidades de operarios y maquinas. Luego, a estos mismos pedidos y recepciones se le realizara igualmente el cálculo de distancias y tiempo, lo cual nos brindara la información útil de reducción o aumento de tiempo en el cambio de geometría.

Igual que en la simulación en la geometría tradicional, en la Chevron para poder calcular estos tiempos no se tuvo en cuenta el descargue de la mercancía desde los diferentes niveles, ya que estos tiempos serán iguales para cualquier geometría simulada, los tiempos calculados tienen en cuenta la distancia desde la posición del producto a la puerta donde se consolidan, se verifican y se cargan. Esta distancia recorrida será la misma en la ida por la mercancía tanto para su regreso, lo que si cambia según la toma de tiempos realizada es la velocidad estándar para la ida que es un poco menor que la velocidad de regreso con la carga unitaria. A pesar que las estibas contienen hasta 8 productos, cada recogedor solo trae un producto por viaje. Este recorrido se realiza en carretas metálicas mostradas anteriormente

La geometría Chevron, tiene algunos tramos que incluye distancias rectangulares y en la mayoría de ellas se utilizan distancias euclidianas (distancias diagonales), en otros tramos que tenía desplazamientos diagonales y rectos, se calculó la distancia total con la suma de ambas distancias. El cálculo de la distancia rectangular y el cálculo de la distancia euclidiana es la siguiente:

Distancia euclidiana $d_i = \sqrt{(x_i - x^*)^2 + (y_i - y^*)^2}$

Distancia rectangular $d_i = |x_i - x^*| + |y_i - y^*|$

Donde

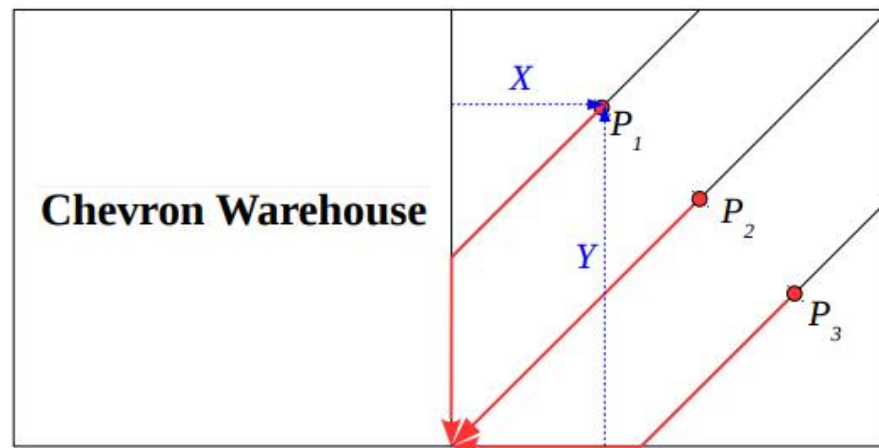
d_i = Distancia rectangular recorrida desde una posición A (origen) a una posición B

x_i = Componente en X de las coordenadas de localización del origen

y_i = Componente en Y de las coordenadas de localización del origen

x^* = Componente en X de las coordenadas de localización del destino i

y^* = Componente en Y de las coordenadas de localización del destino i



$P_1 = (X_1, Y_1)$ For P_1 , $Y > \text{abs}(X)$ $D(P_1) = \text{sqrt}(2 * X^2) + Y - \text{abs}(X)$

$P_2 = (X_2, Y_2)$ For P_2 , $X = Y$ $D(P_2) = \text{sqrt}(2 * X^2)$

$P_3 = (X_3, Y_3)$ For P_3 , $Y < \text{abs}(X)$ $D(P_3) = \text{sqrt}(2 * Y^2) + (\text{abs}(X) - Y)$

$D = \text{sqrt}((X^2 + X^2))$

Las distancias recorridas y los tiempos de transporte de los pedidos despachados en los periodos analizados para la geometría Chevron se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Cálculo de distancias y tiempos de transporte con despachos en geometría Chevron

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
1	14	546,3	18,5	79	2431,9	82,5	40	1042,1	35,3	62	2164	73,4
2	55	1676,9	56,9	54	1513,2	51,3	46	1037,1	35,2	93	2878,3	97,6
3	78	2642,7	89,6	90	2342,9	79,4	56	1511	51,2	88	2894,1	98,1
4	65	1891,3	64,1	76	2345,8	79,5	71	1829,2	62	64	1973,2	66,9
5	83	2699,5	91,5	60	1847,6	62,6	261	7195,3	244	84	2889,3	98
6	91	2392,1	81,1	71	1968,4	66,7	205	5132,1	174	80	2220,6	75,3
7	88	2824,2	95,8	82	2409,7	81,7	72	1786,8	60,6	23	747,7	25,4
8	91	3072,7	104,2	73	2218,4	75,2	59	1558,6	52,8	67	1827,5	62
9	77	2428	82,3	41	1311,9	44,5	57	1472,3	80	80	2041,1	69,2
10	118	3810,6	129,2	67	1737,2	58,9	81	2162,2	73,3	89	2495,8	84,6
11	103	3085,5	104,6	69	2732,1	92,6	70	2163,6	73,4	90	2032,3	68,9
12	82	2358,7	80	56	1471,5	49,9	70	1654,3	56,1	52	1455,4	49,3
13	90	3071,1	104,1	56	1637,9	55,5	44	1056,5	35,8	15	488,8	16,6
14	88	2892,7	98,1	94	2429,3	82,4	132	1890	64,1	11	310,6	10,5
15	108	3490,2	118,3	47	1218,2	41,3	61	1189,1	40,3	29	667,2	22,6
16	106	2935,2	99,5	94	2383,8	80,8	49	1548,2	52,5	47	992,5	33,7
17	94	2755,2	93,4	72	2063,9	70	53	1328,6	45	59	1709,1	57,9
18	87	2592,4	87,9	147	4214,5	142,9	66	1567,8	53,2	49	1119,8	38
19	75	2600,7	88,2	119	3518	119,3	58	1872,8	63,5	28	870,3	29,5
20	64	2026,8	68,7	93	2807,1	95,2	85	1961,8	66,5	54	1306	44,3
21	83	2830,5	96	68	1691,3	57,3	90	2373	80,5	71	1938	65,7
22	104	3227,5	109,4	53	1384,1	46,9	60	1553,2	52,7	67	1693	57,4
23	107	3436,2	116,5	104	2880	97,7	64	1804,1	61,2	56	1565,7	53,1
24	121	3292,2	111,6	40	869,2	29,5	20	677,7	23	68	1588,1	53,8
25	62	1811,5	61,4	55	1420,6	48,2	53	1682,2	57	67	1616,4	54,8
26	46	1730,5	58,7	51	1197	40,6	73	2001,2	67,9	40	1020,8	34,6
27	45	1379,4	46,8	61	1427,6	48,4	62	1831,1	62,1	30	639,8	21,7
28	140	4576,6	155,2	74	2074,3	70,3	75	2205,8	74,8	55	1458,5	49,5
29	72	1986,4	67,4				54	1609,4	54,6	91	1607,5	54,5
30	77	2375,1	80,5				49	1363	46,2	54	1267,1	43
31	104	2465,6	83,6				69	2136,8	72,5			
SUMATORIA	2618	80904,3	2743,1	2046	57547,4	1951,1	2305	60196,9	2071,3	1763	47478,5	1609,9
PROMEDIO	84,45	2609,82	88,49	73,07	2055,26	69,68	74,35	1941,84	66,82	58,77	1582,62	53,66

4.3.2. Herramienta de simulación en recepción de mercancía con adaptación de geometría Chevron

Ahora utilizando Excel®, de la misma forma que se simuló el alistamiento de pedidos, ahora se simula el aprovisionamiento de pedidos a las estanterías para los meses de enero, febrero, marzo y abril en la geometría no tradicional Chevron, teniendo en cuenta el número de unidades por cada estiba según la referencia a ubicar en la estantería. Es decir, se tendrá en cuenta traslado por unidad de carga, que en este caso es una estiba. La información de la simulación la podemos encontrar en el siguiente cuadro:

Tabla 17. Cálculo de distancias y tiempos de transporte con recepción de mercancía en geometría Chevron

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	UNID. DE CARGA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)
1				5	142,6	2,2	33	955,3	14,5	35	1157,9	17,59
2	14	357,8	5,4	14	385,3	5,9	47	1550,1	23,5			
3	10	284,2	4,3	21	655,3	10,0	51	1729,7	26,3	54	1665	25,29
4	69	2355,6	35,8	24	824,6	12,5	33	1067,8	16,2	50	1622,7	24,65
5	28	953,8	14,5							60	1938	29,44
6	17	463,8	7,0	12	323,9	4,9	59	1945,2	29,5	59	1865,3	28,33
7	9	243,9	3,7	21	848,4	12,9	56	1664,6	25,3	53	1643,6	24,97
8				39	1515,4	23,0	43	1624,2	24,7	24	747,5	11,35
9				23	704,5	10,7	32	1283,2	19,5			
10	63	1985,2	30,2	19	586	8,9	38	1475,3	22,4	66	2222,4	33,76
11	42	1334,5	20,3	11	296,6	4,5	54	1519,8	23,1	57	1877,5	28,52
12	15	719	10,9							51	1827,3	27,76
13	13	527	8,0	24	867	13,2	56	1724,2	26,2			
14	16	442,2	6,7	43	1205,3	18,3	48	1487,4	22,6			
15				10	263,1	4,0	39	1295	19,7			
16	8	230,1	3,5	68	2210,1	33,6	33	1153,4	17,5			
17	37	1295,1	19,7	7	182,5	2,8	36	1247,3	18,9	48	1758,1	26,71
18	20	689,9	10,5	9	262,7	4,0	40	1256,8	19,1	34	1384,4	21,03
19	27	878,1	13,3							42	1372,9	20,86
20	17	574	8,7	3	103,7	1,6				60	2223,7	33,78
21	17	495,1	7,5	9	367,5	5,6	54	1833,8	27,9	34	1040,5	15,81
22							30	1003,1	15,2	25	785,3	11,93
23	50	1579,9	24,0	20	616,5	9,4	55	173,8	2,6			
24	36	1244,5	18,9	24	723,8	11,0	24	801,9	12,2	65	2097,8	31,87
25	26	820,1	12,5	13	333,3	5,1	39	1285,9	19,5	59	1803,8	27,40
26	13	433,6	6,6							34	1076,8	16,36
27	45	1303,8	19,8	4	82,4	1,3	71	2324,6	35,3	31	932,4	14,16
28	19	625,3	9,5	17	463,9	7,0	48	1597,9	24,3	48	1461,1	22,19
29							53	1588	24,1	61	1735,2	26,36
30	10	336,7	5,1				61	2920,7	44,4			
31	33	989,1	15,0				64	2047,8	31,1			
SUMATORIA	654	21162,3	321,467151	440	13964,4	212,127032	1197	38556,8	585,699316	1050	34239,2	520,112562
PROMEDIO	26,16	846,49	12,86	19,13	607,15	9,22	46,04	1482,95	22,53	47,73	1556,33	23,64

5. RESULTADOS

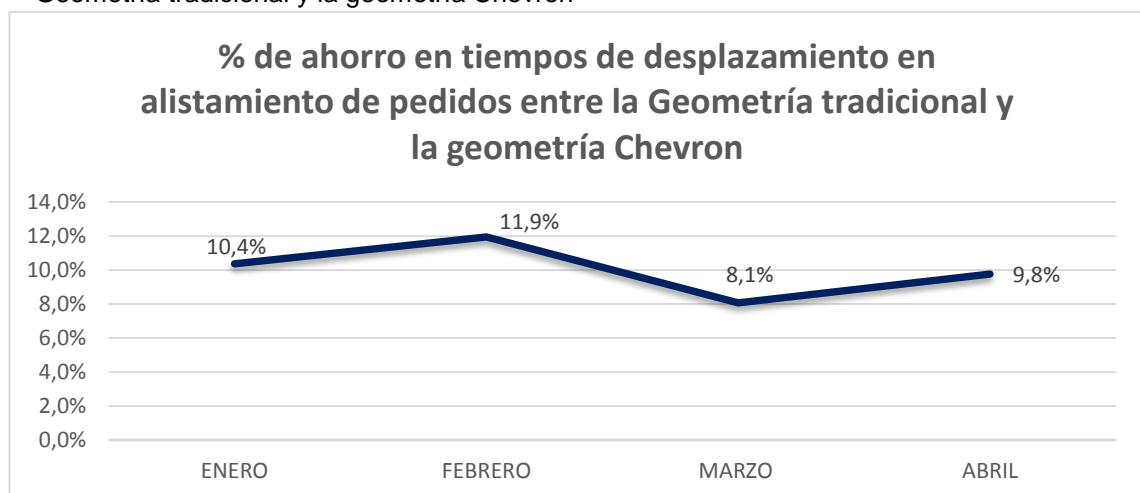
5.1. ANALISIS EN AHORRO DE DISTANCIA Y TIEMPO.

Una vez simuladas las 2 geometrías (tradicional Vs Chevron) y con la información de distancias recorridas y tiempos de movimiento se puede realizar las comparaciones para determinar que tanto mejoran los tiempos en la geometría Chevron con respecto a la geometría tradicional. A continuación, se puede observar la tabla de comparación para los despachos entre las dos geometrías, observando las diferencias en distancia, en tiempo y la diferencia porcentual de la variable tiempo de recorrido entre la Chevron respecto a la geometría tradicional. En pocas ocasiones se pudo observar una diferencia negativa. Sin embargo, aunque no debería ocurrir en ninguna ocasión, es explicado por la adaptación funcional en la distribución Chevron; Es precisamente uno de los resultados importantes de esta investigación. Los estudios realizados sobre las geometrías no tradicionales, generalmente simulan el recorrido de una posición de estiba en un punto que coincida con las 2 geometrías, de esta forma claramente se puede evidenciar la diferencias en los recorridos entre las dos geometrías, pero que pasa cuando una de las posiciones se encuentra en un pasillo en la geometría Chevron?, o que pasa cuando se quiere replicar la posición en la Chevron, pero una misma referencia de productos podría quedar en varios pasillos diferentes?. La investigación actual respondió esta pregunta de forma funcional utilizando 2 criterios fundamentales: cercanía a la posición geográfica original y distribución funcional, es decir, se espera que una referencia que tenga varias posiciones asignadas en las estanterías, lo más funcional es que queden contiguas todas las posiciones y sobre todo en el mismo lado de la estantería. A veces ocurría que para ser coherente con la posición geográfica original se debía colocar unas posiciones a un lado de la estantería y otras al lado de atrás de la estantería. Si esto se realizara de esta forma es probable

se pudieran tener problemas en el control del inventario y un aumento en recorridos en la verificación de inventarios periódicos o en el aprovisionamiento de mercancías a las estanterías. Por estas razones explicadas es posible que se puedan generar entonces adaptaciones diferentes en cada caso, porque estos criterios son subjetivos a cada investigador. En este caso se realizó una adaptación que evidenció mejoras similares a lo que dice la literatura para almacenamiento dedicado, Güe y Meller,⁵⁷ mencionan el diseño de almacenes con almacenamiento según rotación, en el cual estiman una reducción en tiempos de transporte de hasta un 10% para almacenes con almacenamiento 20/80 (el 20% de las referencias generan el 80% de los despachos) en las geometrías Fishbone y Flying-V.

Podemos observar en la investigación actual que las reducciones de los tiempos de alistamiento en la geometría Chevron se mueven alrededor del 10% para los 4 meses analizados, con un promedio exactamente de 10,03%. En el gráfico 1 podemos observar los promedios mensuales de ahorro en tiempos en los 4 meses evaluados y en la tabla 18 podemos observar en detalle diario los ahorros entre un mes y otro.

Gráfico 1. % de ahorro en tiempos de desplazamiento en alistamiento de pedidos entre la Geometría tradicional y la geometría Chevron



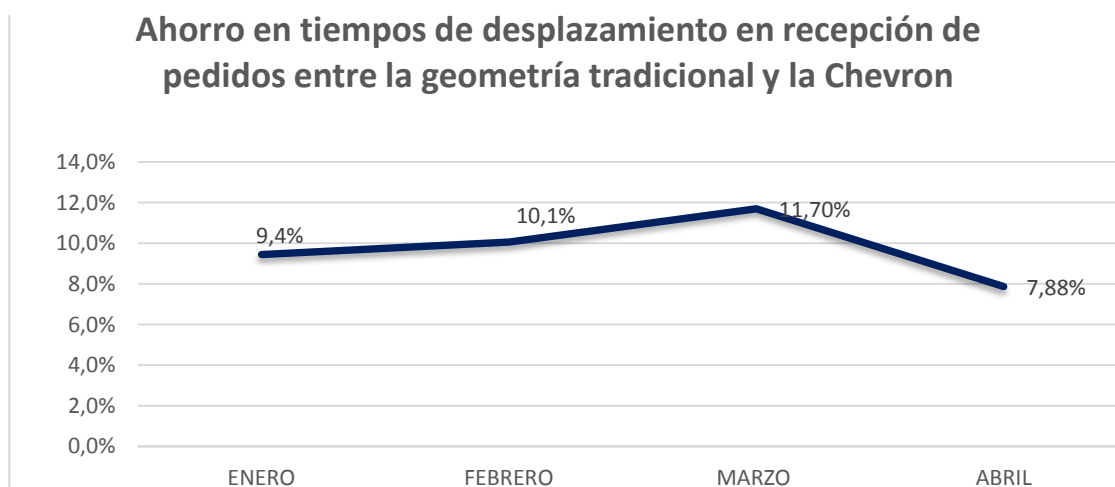
⁵⁷ GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

Tabla 18. Diferencia diaria entre distancias y tiempos de transporte para despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%
1	-94	-3,2	-20,9%	198,9	6,7	7,5%	260,9	8,9	20,1%	34,5	1,1	1,5%
2	175,6	5,9	9,4%	-32,2	-1,1	-2,2%	252,4	8,5	19,5%	-4,3	-0,2	-0,2%
3	313,6	10,6	10,6%	261,6	8,9	10,1%	11,5	0,4	0,8%	-97,1	-3,3	-3,5%
4	251,7	8,6	11,8%	92,5	3,2	3,9%	280,8	9,5	13,3%	142,6	4,8	6,7%
5	197,8	6,7	6,8%	246,2	8,4	11,8%	1326	44,9	15,5%	220,5	7,4	7,0%
6	342,9	11,6	12,5%	318,6	10,8	13,9%	1308,2	44,4	20,3%	6,7	0,2	0,3%
7	364,3	12,3	11,4%	269,3	9,1	10,0%	92,2	3,1	4,9%	-101,7	-3,5	-16,0%
8	156,1	5,3	4,8%	150,1	5,1	6,4%	204,2	7	11,7%	243,3	8,2	11,7%
9	324	11	11,8%	53,1	1,8	3,9%	364	-17,7	-28,4%	268,4	9,1	11,6%
10	371,9	12,6	8,9%	210,3	7,1	10,8%	112,1	3,8	4,9%	412,7	14	14,2%
11	288,5	9,8	8,6%	-137,1	-4,6	-5,2%	149,2	5	6,4%	404,7	13,7	16,6%
12	281,3	9,5	10,6%	264,5	9	15,3%	45,7	1,5	2,6%	142,1	4,9	9,0%
13	213,2	7,3	6,6%	135,4	4,6	7,7%	136,3	4,6	11,4%	-197	-6,7	-67,7%
14	431,8	14,6	13,0%	195,2	6,6	7,4%	439,5	14,9	18,9%	50,7	1,7	13,9%
15	424,8	14,4	10,9%	349,1	11,8	22,2%	120,4	4,1	9,2%	114,3	3,9	14,7%
16	575,3	19,5	16,4%	184,7	6,3	7,2%	29,3	1	1,9%	282,5	9,5	22,0%
17	497,8	16,9	15,3%	475,1	16,1	18,7%	56,9	2	4,3%	-114,3	-3,8	-7,0%
18	217,6	7,4	7,8%	728,3	24,7	14,7%	311,2	10,5	16,5%	273,7	9,2	19,5%
19	56,8	1,9	2,1%	862,3	29,2	19,7%	110,5	3,7	5,5%	16,7	0,6	2,0%
20	101,2	3,5	4,8%	527,4	17,9	15,8%	394,2	13,4	16,8%	221,8	7,5	14,5%
21	233,8	7,9	7,6%	503	17,1	23,0%	150,5	5,1	6,0%	254,3	8,6	11,6%
22	502,5	17,1	13,5%	199,9	6,8	12,7%	-41,9	-1,5	-2,9%	696,5	23,6	29,1%
23	217,8	7,4	6,0%	-115,5	-4	-4,3%	-122,3	-4,2	-7,4%	110,1	3,7	6,5%
24	460,6	15,6	12,3%	313,1	10,6	26,4%	-65,4	-2,2	-10,6%	-7,6	-0,2	-0,4%
25	261,3	8,9	12,7%	450,2	15,2	24,0%	54,8	1,9	3,2%	106,1	3,6	6,2%
26	182,8	6,2	9,6%	515	17,4	30,0%	103,6	3,5	4,9%	88,7	3	8,0%
27	112,9	3,8	7,5%	486,7	16,5	25,4%	45,4	1,5	2,4%	252,2	8,5	28,1%
28	1252,4	42,4	21,5%	102,7	3,5	4,7%	56,5	1,9	2,5%	129,5	4,3	8,0%
29	192,9	6,5	8,8%				19,6	0,6	1,1%	906,5	30,7	36,0%
30	41,4	1,4	1,7%				-12	-0,4	-0,9%	297,2	10	18,9%
31	397,2	13,5	13,9%				60	2	2,7%			
TOTAL MES	9347,8	316,9	10,4%	7808,4	264,7	11,9%	6254,3	181,7	8,06%	5154,3	174,1	9,76%
PROMEDIO	301,54	10,22	8,97%	278,87	9,45	12,2%	201,75	5,86	5,7%	171,81	5,80	7,4%

Ahora, podemos observar en el gráfico 2, los ahorros generados en la recepción de pedidos con montacargas para cada día durante los 4 meses de simulación. Se puede observar un ahorro promedio del 9,77% en la geometría Chevron respecto a la tradicional. En la tabla 19 se puede observar en detalle la diferencia diaria entre distancias y tiempos de transporte para recepción de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron

Gráfico 2. Ahorro en tiempos de desplazamiento en recepción de pedidos entre la geometría tradicional y la Chevron



En la tabla 20 se puede observar con detalle el consolidado de ahorro en distancia y tiempos de desplazamiento tanto para alistamiento de pedidos como para recepción de mercancía. Se encontró un ahorro en tiempo promedio de 279 min mensuales, aproximadamente 4,65 h/mes y un promedio del 10,06% de ahorro mensual de la geometría Chevron con respecto a la tradicional utilizada actualmente en el CEDI de línea blanca. En el gráfico 3 se puede observar los ahorros totales generados por cada mes de los 4 meses evaluados.

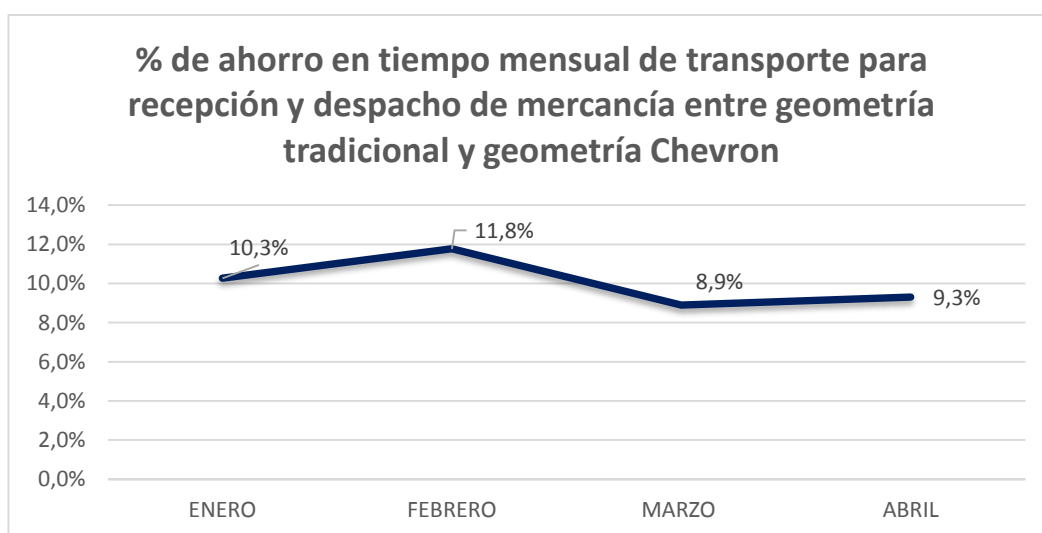
Tabla 19. Diferencia diaria entre distancias y tiempos de transporte para recepción de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron

DIA	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%
1				-0,3	0,03382639	1,5%	90,5	1,38845971	8,7%	84,1	1,3108526	6,9%
2	91,2	1,36481826	20,1%	53,7	0,84707791	12,6%	171,7	2,65311566	10,1%			
3	-11,7	-0,21715665	-5,3%	105	1,54562718	13,4%	328,6	5,0248914	16,1%	199	3,00772052	10,6%
4	233,9	3,51712099	8,9%	100,9	1,57386567	11,2%	76	1,1795219	6,8%	140,8	2,15028113	8,0%
5	56	0,81124554	5,3%							100	1,56069811	5,0%
6	26,2	0,35461908	4,8%	20,1	0,27977818	5,4%	208,1	3,1513261	9,6%	174	2,6650517	8,6%
7	15,9	0,19502284	5,0%	23,1	0,31233038	2,4%	176,9	2,71379674	9,7%	230,7	3,53279846	12,4%
8				156,9	2,38022803	9,4%	108,8	1,62749529	6,2%	50,5	0,74505771	6,2%
9				108,8	1,69825171	13,7%	127,8	1,90747566	8,9%			
10	223,1	3,34370377	10,0%	55,3	0,79833287	8,2%	188,7	2,88936942	11,4%	26,9	0,44050335	1,3%
11	162,3	2,42820002	10,7%	33,2	0,49448042	9,9%	114,5	1,71338957	6,9%	237,8	3,57972689	11,2%
12	31	0,47798862	4,2%							50	0,74229291	2,6%
13	14,5	0,1945758	2,4%	116	1,729786	11,6%	156,8	2,40843947	8,4%			
14	116,8	1,78273514	21,0%	191,2	2,89082014	13,6%	132,4	2,00556366	8,2%			
15				45,9	0,70336412	15,0%	156,8	2,42822707	11,0%			
16	104,4	1,60465255	31,5%	278,2	4,22734722	11,2%	109,1	1,67921012	8,7%			
17	147,7	2,22670801	10,2%	18,8	0,32772312	10,6%	41,5	0,6528167	3,3%	51,7	0,79347954	2,9%
18	40,6	0,62003386	5,6%	29,6	0,40944035	9,3%	138	2,10850639	9,9%	90,6	1,37019116	6,1%
19	111,2	1,6611708	11,1%							141,4	2,14488258	9,3%
20	27,5	0,38061957	4,2%	2,1	0,02473911	1,5%				195,8	3,02075562	8,2%
21	-23,3	-0,32084539	-4,5%	0,8	0,01746984	0,3%	205	3,14355428	10,1%	97,5	1,49422414	8,6%
22							140,9	2,16235102	12,4%	55,2	0,87085461	6,8%
23	108,4	1,60043702	6,3%				1772,2	26,959881	91,1%			
24	196,5	2,99535026	13,7%	107,2	1,60507394	12,7%	76,6	1,11869134	8,4%	241,2	3,63324691	10,2%
25	124,4	1,84222318	12,9%	76,5	1,13698694	18,3%	159,1	2,46646115	11,2%	175,7	2,69927103	9,0%
26	92,4	1,41337394	17,7%							81,7	1,24280688	7,1%
27	196,7	2,99455016	13,1%	18,6	0,248298	16,6%	263,4	3,9880283	10,1%	60,4	0,93632349	6,2%
28	50	0,80134393	7,8%	28,4	0,45310003	6,0%	115,9	1,72700697	6,6%	187,2	2,80507534	11,2%
29							192,3	2,8773935	10,7%	244,1	3,74134333	12,4%
30	10,1	0,18533904	3,5%				-369,7	-5,56706348	-14,3%			
31	85,2	1,27501884	7,8%				209,5	3,19277482	9,3%			
TOTAL MES	2231	33,5328492	9,4%	1570	23,7379476	10,1%	5091,4	77,6006837	11,70%	2916,3	44,487438	7,88%
PROMEDIO	89,24	1,34	9,11%	71,36	1,08	9,8%	195,82	2,98	11,5%	132,56	2,02	7,8%

Tabla 20. Consolidada mensual de diferencia entre distancias y tiempos de transporte para recepción y despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron

MES	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	% MEJORA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	% MEJORA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	% MEJORA	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	%MEJORA
DESPACHOS	9347,8	316,9	10,4%	7808,4	264,7	11,9%	6254,3	181,7	8,1%	5154,3	174,1	9,8%
RECEPCIÓN	2231	33,532849	9,4%	1570	23,7379476	10,1%	5091,4	77,6006837	11,7%	2916,3	44,487438	7,9%
TOTAL	11578,8	350,43285	10,3%	9378,4	288,437948	11,8%	11345,7	259,300684	8,9%	8070,6	218,587438	9,3%

Gráfico 3. % de ahorro en tiempo mensual de transporte para recepción y despacho de mercancía entre geometría tradicional y geometría Chevron



6. CONCLUSIONES

La redistribución de geometrías y de estanterías trae consigo algunos elementos que hacen que las adaptaciones puedan variar entre un caso y otro según criterio del investigador. Como ocurrió en esta aplicación, donde se utilizaron 2 criterios fundamentales en la adaptación de una geometría a la otra: cercanía a la posición geográfica en la geometría original y distribución funcional, es decir, se espera que una referencia que tenga varias posiciones asignadas en las estanterías, lo más funcional es que en la adaptación queden contiguas todas las posiciones y sobre todo en el mismo lado de la estantería. Si esto no se realizara de esta forma es probable que aunque se generaran ahorros de tiempos, se pudieran tener problemas en el control del inventario y un aumento de recorridos en la verificación de inventarios periódicos o en el aprovisionamiento de mercancías a las estanterías.

Entonces es posible que los porcentajes de ahorro puedan variar entre una adaptación y otra según los criterios seleccionados y el número de posiciones por referencia.

El ahorro en tiempo generado por la redistribución tanto en recorridos por alistamiento de pedidos tanto para recepción de mercancía, teniendo en cuenta que el almacenamiento es dedicado fue en promedio del 10,02%, lo cual es muy coherente con la bibliografía sobre ahorros con otras geometrías para almacenamiento dedicado.

El resultado de esta investigación amplía el panorama para la toma de decisiones de distribución de almacenes con almacenamiento dedicado, profundiza un poco más en la geometría Chevron y plantea algunos elementos que permitieran seleccionar esta geometría entre otras por su facilidad de adaptación, la moderada reducción de capacidad de almacenamiento y simplicidad de diseño.

La propuesta de adaptación para este caso de estudio generó una reducción en la cantidad de posiciones de estibas de 1008 posiciones a 909 posiciones. Una reducción del 9,82%. Este factor se tendrá que tener en cuenta a la hora de tomar las decisiones.

Es importante a partir de esta información continuar con el análisis financiero y determinar si el costo de la redistribución, que incluye: traslado de mercancía a un almacén alternativo, costo de almacenamiento temporal, movimiento de estanterías para adaptar a la geometría seleccionada, costos por deterioro de mercancías en el traslado, ventas perdidas, variaciones en el inventario; justifica el ahorro de tiempos de recorrido. Es conveniente generar un modelo que permita determinar a partir de que movimiento de mercancía convendría una redistribución.

7. BIBLIOGRAFIA

ARES MARQUINA, Fernando. Análisis Y Business Plan De Una Empresa De Transporte De Mercancías Destinada Al Reparto A Grandes Superficies Y Plataformas Asociadas. Octubre 2003 [En línea] Disponible en <http://hdl.handle.net/2099.1/6368>. (s.f.).

BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición PEARSON EDUCACIÓN, México, 2004. 816 p. (s.f.).

BARTHOLDI, Jhon J, HACKMAN Steven. Warehouse & Distribution Science [En línea] The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA 30332-0205 USA. 2014. Disponible en: www.ware. (s.f.).

CARDONA, Luis F., SOTO, Diego F., RIVERA, Leonardo, MARTINEZ, Hector, Detailed design of Fishbone warehouse layout swith vertical travel, Int. J.Production Economics Elsevier, vol. 170 (2015) 825–837. (s.f.).

CASO NEIRA, Alfredo Técnicas De Medición Del Trabajo. 2 Edición. España. 2006. 235p. (s.f.).

DE KOSTER, R., LE-DUC, T., and ROODBERGEN, K.J., Design and control of warehouse order picking: a literature review. En: European Journal of Operational Research 182(2), (2007). p, 481-501. (s.f.).

GÜE, Kevin R., ÖZTÜRKOĞLU, Ömer and MELLER, Russell D. Optimal Unit-Load Warehouse Designs for Single-Command Operations. En: JIIE Transactions. Nov 2011 vol 44 Issue 6: Design & Manufacturing. P, 459-475. (s.f.).

GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii.2009; p. 1-8. (s.f.).

JIMÉNEZ CARABALÍ, Víctor Javier, MANOTAS DUQUE, Diego Fernando, VILLOTA GARCÍA Rosana Marisol. Configuración de pasillos en centros de distribución basada en modelos no tradicionales: Modelo espina de pescado. Entramado. Vol. 9, No. 1., (2013). (s.f.).

RAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. Administración de Operaciones: Procesos y cadenas de Valor.Octava Edición. Mexico 2008. 752 p. (s.f.).

SALAZAR LOPEZ, Bryan. Diseño y Layout de almacenes y centros de distribución. [En línea] disponible en <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-de-almacenes/dise%C3%B1o-y-layout-de-almacenes-y-centro>. (s.f.).

BASSAN, Yoseph. ROLL, Yaakov. y ROSENBLATT, Meir. Internal layout design of a warehouse. En: IIE Transactions. Vol. 12 No.4 (1980); pp.317-22

BOZER, Yavuz, SCHORN, Ellen Y SHARP, Gunter. Geometric Approaches to Solve the Chebyshev Traveling Salesman Problem. En: IIE Transactions. Vol 22, (1990); p.239-254

FRAZELLE, Edward. World-class warehousing and material handling. New York: McGraw Hill, 2002.

GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference. (2009);p. 1-8.

GUTIÉRREZ. Valentina. Operación de centros de distribución: Guía didáctica para su mejoramiento. En Revista Heurística. Edición 12; (2002).

HAUSMAN, Warren. Schwarz, Leroy. Graves, Sthepen. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. En: Management Science 22(6), (1976); p. 629-638.

HERAGU, Sunderesh. Facilities Design. 2ª Edición. Estados Unidos: iUniverse, Inc., Lincoln,NE, 2006.

HOMPEL, Michael y SCHMIDT, Thorsten. Warehouse Management. Berlín: APringer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

LAWLER, E.; LENSTRA, Jan; RINNOOY, Kann y SHMOYS, D. The Traveling Salesman Problem. Chichester : Wiley, 1995.

MONTENEGRO, Mario. Automatización de centros de distribución. Guatemala: Universidad Francisco Marroquín, Facultad Ingeniería de Sistemas Informática y Ciencias de la Computación. N° págs. 108, 2002.

SILVA, Álvaro. Logística de almacenamiento. Caracas: Tecana American University, 2006.

.